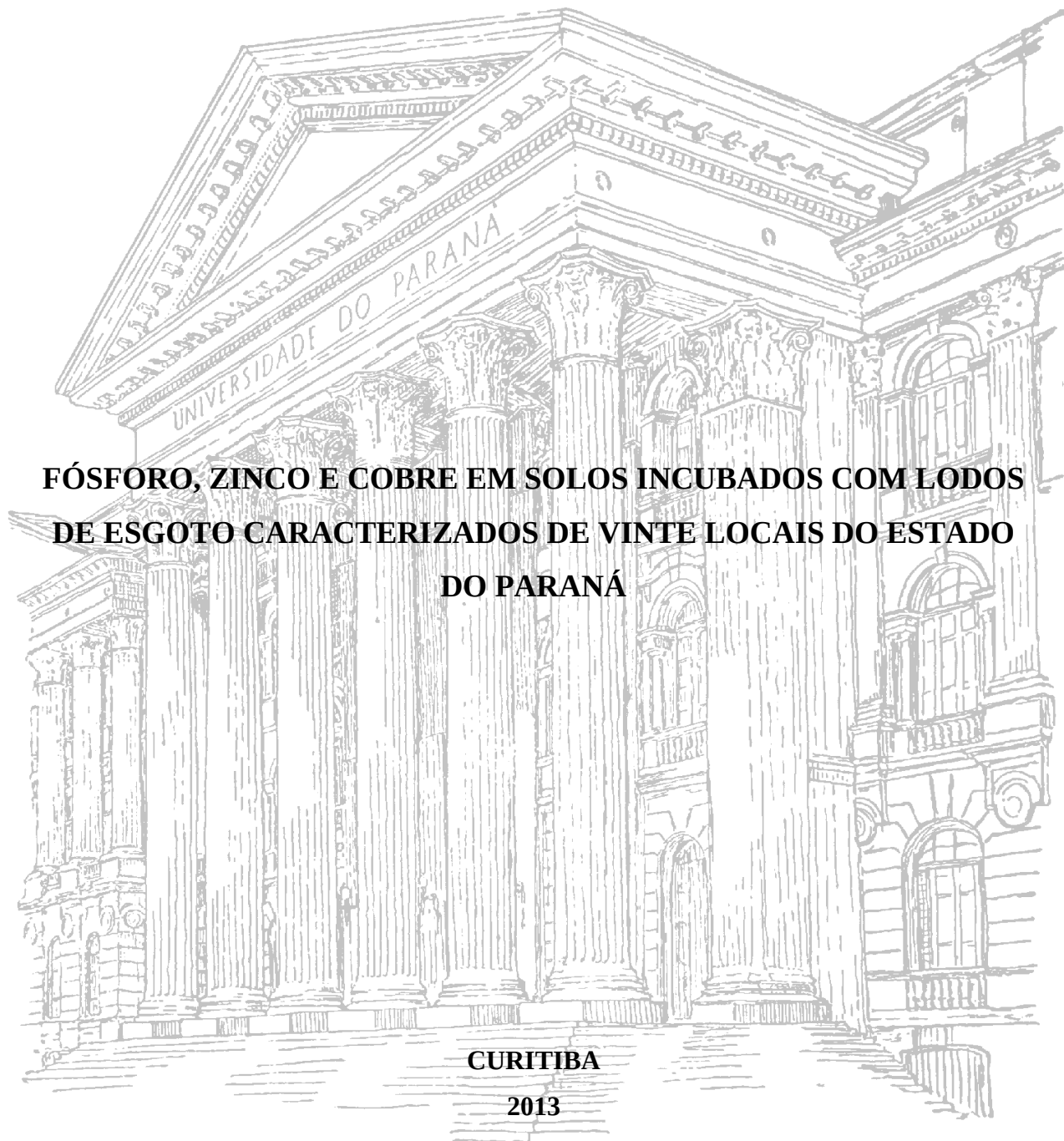


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**FÓSFORO, ZINCO E COBRE EM SOLOS INCUBADOS COM LODOS
DE ESGOTO CARACTERIZADOS DE VINTE LOCAIS DO ESTADO
DO PARANÁ**

CURITIBA

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MARISTELA DALPISOL

**FÓSFORO, ZINCO E COBRE EM SOLOS INCUBADOS COM LODOS
DE ESGOTO CARACTERIZADOS DE VINTE LOCAIS DO ESTADO
DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta

CURITIBA

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



P A R E C E R

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **MARISTELA DALPISOL**, intitulada: **“Fósforo, zinco e cobre em solos incubados com lodos de esgoto caracterizados de vinte locais do estado do Paraná”**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição da candidata, emitem parecer pela **“APROVAÇÃO”** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 30 de outubro de 2013.

Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat, Presidente

Profa. Dra. Cyntia Maria Wachowicz, 1º. Examinador

Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima, 2º. Examinador

Dedico este trabalho ao meu pequeno Tito Manoel,
autor dos momentos mais felizes que aconteceram na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Prof^a Beatriz Monte Serrat, pelos ensinamentos, confiança, paciência amizade que foram fundamentais para a finalização desta dissertação.

Ao meu coorientador Prof. Antônio Carlos Vargas Motta pelas valiosas contribuições nesse trabalho e a imensa bondade e serenidade nos momentos de angústia dessa orientada.

Ao meu esposo Gustavo, pela ajuda e cuidados com para com o nosso lindo Tito e a infinita paciência e carinho comigo.

Aos participantes do projeto Curvas de pH, principalmente à Simone Bittencourt que foi incansável na coleta de solos em todos os cantos do estado.

Aos meus amigos, em especial Giovana, Letícia e Marcelle minha irmã de coração por toda a ajuda e incentivo e carinho.

Aos membros que participaram da banca, Prof^a. Cyntia Maria Wachowicz (PUCPR), Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima que muito acrescentaram para a finalização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Roberto, Aldair, Reginaldo e Maria.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho, à CAPES pela concessão da bolsa de estudos e à SANEPAR pelo desenvolvimento do projeto.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para sua conclusão.

Obrigada!

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos muito argilosos na disponibilidade de P nos solos de (a) Apucarana, (b) Cascavel, (c) Campo Mourão, (d) Francisco Beltrão, (e) Foz do Iguaçu, (f) Guarapuava, (g) Londrina, (h) Maringá, (i) Pato Branco, (j) Pinhais e (k) Toledo. 35
- FIGURA 2. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos argilosos na disponibilidade de P nos solos de (a) Cornélio Procópio e (b) Santo Antônio da Platina. 36
- FIGURA 3. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos de textura média na disponibilidade de P nos solos de (a) Arapongas, (b) Matinhos, (c) Ponta Grossa, (d) Rio Negro, (e) Telêmaco Borba, (f) Paranavaí e (g) Umuarama. 37
- FIGURA 4. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos muito argilosos na disponibilidade de Zn e Cu nos solos de (a) Apucarana, (b) Cascavel, (c) Campo Mourão, (d) Francisco Beltrão, (e) Foz do Iguaçu, (f) Guarapuava, (g) Londrina, (h) Maringá, (i) Pato Branco, (j) Pinhais e (k) Toledo..... 39
- FIGURA 5. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos argilosos na disponibilidade de Zn e Cu nos solos de (a) Cornélio Procópio e (b) Santo Antônio da Platina..... 40
- FIGURA 6. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos de textura média na disponibilidade de Zn e Cu nos solos de (a) Arapongas, (b) Matinhos, (c) Ponta Grossa, (d) Rio Negro, (e) Telêmaco Borba, (f) Paranavaí e (g) Umuarama. 41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Sólidos totais (ST) e pH dos lodos brutos desaguados das 20 regionais, com tratamento anaeróbios, atendidas pela SANEPAR no estado do Paraná, Poder de Neutralização (PN) dos lodos após o processo de higienização e da cal utilizada neste processo.....	5
TABELA 2. Coordenadas geográficas, Classe de solos e atributos físicos dos 20 solos utilizados no processo de incubação.	6
TABELA 3. Atributos químicos dos 20 solos utilizados no processo de incubação, correspondente a cada regional atendida pela SANEPAR no estado do Paraná.....	7
TABELA 4. Os valores de pH em CaCl_2 obtidos nos 20 solos após incubação com as doses crescentes dos seus respectivos lodos.	8
TABELA 5. Teores totais de nutrientes presentes nos lodos higienizados pelo processo de EAP usados na incubação com os solos da mesma região.....	9
TABELA 6. Teores de fósforo disponível em solos de 20 locais do estado do Paraná em função de doses crescentes de lodo de seus respectivos locais e as equações de regressões linear ou quadrática, de melhor ajuste da variável de P disponível em relação as doses de lodo aplicadas.....	13
TABELA 7. Teores totais de P presente no lodo EAP e a doses máximas permitidas seguindo a TAMA, teores disponíveis no solo resultantes dessas doses, o total de fósforo aplicado na dose da TAMA e na dose máxima do trabalho (80 Mg ha^{-1}) e porcentagem de P recuperado em relação ao adicionado.	15
TABELA 8. Teores de zinco disponível em solos de 20 locais do estado do Paraná em função de doses crescentes de lodo de seus respectivos locais e as equações de regressões linear ou quadrática, de melhor ajuste da variável de Zn disponível em relação as doses de lodo aplicadas.	19
TABELA 9. Teores totais de Zn presentes no lodo EAP, total de Zinco aplicado por hectare na dose máxima do trabalho (80 Mg ha^{-1}) e na dose TAMA, teores disponíveis de Zn na dose TAMA e porcentagem do Zn recuperado em relação ao adicionado.	21
TABELA 10. Teores de cobre disponível em solos de 20 locais do estado do Paraná em função de doses crescentes de lodo de seus respectivos locais e as equações de regressões linear ou quadrática, de melhor ajuste da variável de Cu disponível em relação as doses de lodo aplicadas.	24
TABELA 11. Teores totais de Cu presentes no lodo EAP, total de Cu aplicado por hectare na dose máxima do trabalho (80 Mg ha^{-1}) e na dose TAMA, teores disponíveis de Cu na dose TAMA e porcentagem do Cu recuperado em relação ao adicionado.	25

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
2.1 AMOSTRAGEM E CARACTERÍSTICAS DOS LODOS E SOLOS ESTUDADOS. 4	
2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1 TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES DOS LODOS DE ETE'S DE 20 DIFERENTES LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ.....	9
3.2 DISPONIBILIDADE DE P EM SOLOS DE 20 LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ APÓS INCUBAÇÃO COM DOSES CRESCENTES DO LODO EAP DE CADA LOCAL.	13
3.3 DISPONIBILIDADE DE Zn EM SOLOS DE 20 LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ APÓS INCUBAÇÃO COM DOSES CRESCENTES DO LODO EAP DE CADA LOCAL.	18
3.4 DISPONIBILIDADE DE Cu EM SOLOS DE 20 LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ APÓS INCUBAÇÃO COM DOSES CRESCENTES DO LODO EAP DE CADA LOCAL.	23
4. CONCLUSÕES	27
5. LITERATURA CITADA	27
6. APÊNDICE	34
6.1 CURVAS DAS DISPONIBILIDADES DO P EM FUNÇÃO DAS DOSES CRESCENTES DE LODO EAP PARA SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS .	34
6.2 CURVAS DAS DISPONIBILIDADES DO ZN E DO CU EM FUNÇÃO DAS DOSES CRESCENTES DE LODO EAP PARA SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS	38

FÓSFORO, ZINCO E COBRE EM SOLOS INCUBADOS COM LODOS DE ESGOTO CARACTERIZADOS DE VINTE LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ

Autora: Maristela Dalpisol

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat

Co-Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta

RESUMO

O lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) é um resíduo produzido em grandes quantidades devido ao grande número de estações existentes e há previsão de um crescente incremento nos volumes produzidos. Assim, o estudo e o desenvolvimento de métodos para a disposição final adequada deste lodo é de grande importância. Os objetivos do presente trabalho são: fazer um levantamento dos teores totais de nutrientes de 20 diferentes lodos do estado do Paraná após a higienização pelo processo de estabilização alcalina prolongada (EAP); avaliar a influência de doses crescentes desses lodos nos teores disponíveis de P, Zn e Cu, além da influência de alguns atributos do solo nesses teores. O tempo de incubação utilizado foi de 60 dias e as doses crescentes de lodo EAP foram de 0, 10, 20, 40, e 80 Mg ha⁻¹ de sólidos totais oriundos da mesma região do solo. A metodologia utilizada para a incubação foi a determinada pela legislação em vigor. As variâncias dos tratamentos foram testadas por Bartlett e, quando significativas, realizou-se uma análise de regressão. Os resultados mostraram que os teores totais dos nutrientes presentes no lodo, e o pH atingido pelo solo com as doses do lodo EAP, influenciaram a disponibilização dos nutrientes P, Zn e Cu. O P e o Zn apresentaram aumentos lineares com as doses crescentes de lodo, na maioria dos solos. Para o nutriente Cu, 10 dos 20 solos estudados apresentaram diminuição dos teores originais de disponibilidade deste nutriente, sendo este comportamento observado em solos com maiores teores de carbono orgânico. Quanto aos atributos do solo, os teores de carbono orgânico e de argila foram os que exerceram maior influência na disponibilização dos nutrientes no solo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Disponibilidade de P, Zn e Cu. Incubação.

SOIL AND SEWAGE SLUDGE FROM TWENTY LOCATIONS IN PARANÁ – BRAZIL: PHOSPHORUS, COPPER AND ZINC AVAILABILITY AFTER THE SOIL INCUBATION WITH THE ALKALI-PRETREATED SLUDGE

Author: Maristela Dalpisol

Advisor: Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat

Co-Advisor: Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta

ABSTRACT

A huge amount of sludge from sewage treatment plants (STP) is produced due to the many existing plants and a growing amount is expected in the future, since more plants are implemented in the Brazilian cities. Therefore, the research and development of processes aiming the correct final disposal of this sludge are extremely important. This work presents the results of the analyses of the alkali-pretreated sludges (APS) from 20 cities from the state of Paraná. These analyses include the assessment of the total amount of nutrients of the APS; the influence of growing doses of sludge over the available P, Zn and Cu; and the influence of some soil attributes on such availability. The incubation period was of 60 days and the growing doses of APS were 0, 10, 20, 40 and 80 Mg ha⁻¹ of total solids from the same region of the soil. The method adopted for the incubation was the required by the Brazilian present official rules. The variances of the treatments were evaluated using Bartlett and, for the significant cases, a regression analysis was performed. The results show that both the total nutrients in the sludge and the pH reached by the soil with the APS, influenced the availability of the nutrients P, Zn and Cu. The P and Zn presented linear increment with the growing doses of sludge, for most of the soils. Regarding the Cu, 10 of the 20 analyzed soils presented decreasing in the availability of this nutrient. This behavior was observed in soils with higher quantities of organic carbon. Regarding the soil attributes, the quantities of organic carbon and clay performed major influence in the availability of the soil nutrients.

Keywords: Sewage sludge. Availability of P, Zn and Cu. Incubation.

1. INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um subproduto semi-sólido resultante do tratamento de águas residuárias domiciliares ou industriais, cuja composição é predominantemente orgânica com teores variáveis de componentes inorgânicos (Melo et al., 2001). Segundo o IBGE (2008), apenas 44,8% da população urbana no Brasil tem rede de coleta de esgotos e apenas 28,5% possui sistemas de tratamento do esgoto, gerando com isso uma necessidade de aumento significativo do número de redes coletoras e estações de tratamento de esgotos (Prosab, 1999). Quando o tratamento de esgoto existe, surge a necessidade de procurar alternativas para disposição final do lodo produzido. No Brasil, o lodo de esgoto é geralmente disposto em aterros sanitários. Isto implica em elevados custos financeiros, que podem atingir 40% a 50% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgotos (Tsutiya, 2000). Além disso, quando esse resíduo é enviado para aterros sanitários ele é simplesmente descartado, não ocorrendo sua reciclagem.

A reciclagem agrícola tem se mostrado uma alternativa promissora, pois essa destinação pode transformar um rejeito em um insumo agrícola, já que esse lodo contém alguns elementos essenciais às plantas, tais como: N, P, Ca e Mg (Melo & Marques, 2000; Tamanini, 2004; Corrêa et al., 2005; Chueiri et al., 2007; Silva et al., 2010a) e micronutrientes como o Cu e o Zn (Galdos et al., 2004; Chiba et al., 2008). O lodo também tem a capacidade de melhorar os atributos físicos do solo, aumentando a capacidade de retenção de água, a porosidade e a estabilidade dos agregados, principalmente devido aos acréscimos de matéria orgânica ao solo (Ricci et al., 2010). Ainda, Fia et al. (2005) afirmam que o lodo higienizado por alcalinização pode ser considerado um corretivo de acidez do solo.

Em solos tropicais a elevada acidez provoca, em geral, a adsorção específica do P (Laboski & Lamb, 2003; Meurer, 2010; Yang et al., 2011), o que provoca baixos teores de P disponível (Kochian et al., 2004; Yang et al., 2011). Para a disponibilidade máxima de P, o pH ideal do solo deve estar entre 6,0 e 6,5, quando ocorre um equilíbrio das formas iônicas do fosfato em $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ e HPO_4^- (Novais & Smyth, 1999). Assim, o lodo higienizado por alcalinização pode ter dupla função: além de corrigir a acidez, pode ser usado como fonte de P para aplicação nos solos.

A adsorção específica também é um dos mecanismos mais importantes para o controle da disponibilidade dos micronutrientes Zn e Cu no solo. Quanto mais básico o pH do solo, mais esses micronutrientes formam um complexo de esfera interna com a superfície de óxidos

de Fe, Mn, Al e aluminossilicatos não-cristalinos (Camargo et al., 2001). Para a maioria dos solos, tem-se observado que valores de pH acima de 6,5 são um dos fatores que provocam a redução da disponibilidade de micronutrientes catiônicos Zn e Cu (Sanders, 1983). Para os micronutrientes o lodo higienizado por alcalinização possui dupla ação, além de aumentar o pH dos solos (Berton & Nogueira, 2010) pode ser fonte de micronutrientes como Zn e Cu.

A aplicação do lodo de esgoto no solo para a reciclagem de seus nutrientes e matéria orgânica, apresenta-se como uma tendência mundial (Oliveira et al., 2010). No Brasil, a reutilização do lodo de esgoto para esse fim vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, atingindo o valor de 21.000 Mg mês⁻¹ em sólidos totais utilizados para a reciclagem na agricultura (Sampaio, 2010). Segundo este mesmo autor, os principais estados que utilizam o lodo de esgoto para este fim são Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul e Distrito Federal.

No estado do Paraná são geradas aproximadamente 15.680 Mg ano⁻¹ de resíduos em sólidos totais, em 227 estações de tratamento de esgoto. Destaca-se a região metropolitana de Curitiba produz 5.076 Mg ano⁻¹ em sólidos totais, o que corresponde a 32,4% do total do estado (SANEPAR, 2007). Em 2007, as estações de tratamento de esgotos (ETEs) da região metropolitana destinaram 3.205 Mg de sólidos totais de lodo de esgoto higienizado por estabilização alcalina prolongada (EAP) para a aplicação em 295 ha, para o cultivo de milho, feijão, soja, adubação verde, pós-colheita e implantação de pomares de fruteiras de caroço (Bittencourt et al., 2009). Portanto a utilização em solos agrícolas é considerada uma das melhores alternativas para a destinação desse resíduo, quando este se apresenta com um padrão adequado de nutrientes, metais pesados e patógenos (Tsutiya, 2001) e atenda as demais restrições impostas pela legislação relativas às áreas e culturas (Paraná, 2009).

A composição química do lodo de esgoto é bastante variável, pois depende de muitos fatores, dentre os quais se destacam a sua origem, o local e a época do ano de sua coleta, além do tipo de tratamento ao qual foi submetido (Melo & Marques, 2000). No Paraná, os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem aplicação agrícola, devem ser submetidos a um processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores (Paraná, 2009). Nos tratamentos do lodo para este fim, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) adota o processo de higienização de estabilização alcalina prolongada (EAP), por meio da adição de cal visando a elevação do pH da mistura a 12 e com posterior período de cura de 30 dias (SANEPAR, 2007; Paraná, 2009). Autores como Fernandes et al. (1996) e Soccol et al. (1999), por exemplo, afirmam que é um processo de higienização

eficiente. No Brasil, o uso na agricultura do lodo de esgoto segue as determinações da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 375/06 (Brasil, 2006) e no estado do Paraná, esta é complementada pela Resolução 021/2009 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) (Paraná, 2009).

Conforme Berton & Nogueira (2010), com o lodo na consistência de “torta” e seco, ocorre uma maior presença dos macronutrientes Ca, P e S. O lodo também contém micronutrientes, principalmente Zn e Cu, sendo suas concentrações variáveis com o tipo de esgoto coletado. Além disso, segundo estes mesmos autores, quando os lodos são higienizado pelo processo EAP, apresentam o pH mais elevado e uma diminuição do nitrogênio, pois ocorre uma maior perda desse elemento através da volatilização da amônia (NH_3).

Por isso, antes de realizar a incorporação do lodo ao solo, deve-se considerar cuidadosamente a elevação de pH que o lodo proporcionará ao solo. A Resolução Conama 375/06 (Brasil, 2006) estabelece que, para o uso do lodo de esgoto alcalinizado, deve-se levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocados por este resíduo no solo predominante da região, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo de esgoto não ultrapasse o limite de 7,0. Esse método da incubação tem sido utilizado como método padrão para a avaliação de efeito corretivo de diversos materiais (Nolla & Anghinoni, 2004; Motta & Lima, 2006).

Poggere et al. (2012) utilizaram este método em ensaios de incubação de solos e lodos de 20 locais no estado do Paraná: Francisco Beltrão, Cascavel, Pinhais, Pato Branco, Guarapuava, Toledo, Apucarana, Campo Mourão, Rio Negro, Matinhos, Telêmaco Borba, Maringá, Santo Antônio da Platina, Londrina, Foz do Iguaçu, Maringá, Cornélio Procopio, Paranavaí, Ponta Grossa e Umuarama. Cada solo foi incubado com seu respectivo lodo de ETE higienizado por EAP proveniente da sua regional. O objetivo era estabelecer as taxas máximas anuais deste lodo, e verificaram uma grande variação nos valores, sendo a menor taxa de 10 Mg ha^{-1} para o solo de Umuarama e a maior taxa para o solo de Francisco Beltrão, de 80 Mg ha^{-1} .

Neste contexto, o presente trabalho pode ser considerado uma continuidade dos trabalhos de Poggere et al. (2012), pois os objetivos do presente trabalho são: a) analisar os teores totais de nutrientes de 20 diferentes lodos do estado do Paraná após a higienização pelo processo EAP; b) avaliar a influência que as doses crescentes desses lodos quando incubados

aos solos provocam nos teores disponíveis de P, Zn e Cu, além da influência de alguns atributos do solo nesses teores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAGEM E CARACTERÍSTICAS DOS LODOS E SOLOS ESTUDADOS.

Para cada uma das vinte regionais da SANEPAR, selecionou-se uma Estação de Tratamento de Esgoto com lodo gerado por tratamento anaeróbio, onde se coletou esse material recentemente desaguado em leito de secagem. O lodo bruto desaguado, após a determinação de pH e sólidos totais (ST) (Tabela 1), foi higienizado pelo processo de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), com adição de cal (óxido de cálcio e de magnésio; PRNT 105,1) a 50% de ST e 30 dias de cura. O poder de neutralização (PN) do lodo foi determinado com base na metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995), utilizando-se 2 g de material seco e moído, visando caracterizar a capacidade potencial corretivo de cada lodo alcalinizado (Tabela 1). Os teores totais dos nutrientes presentes no lodo com base em ST foram determinados conforme metodologia de Martins & Reissmann (2007).

Das vinte regionais, selecionou-se também um tipo de solo representativo em uso agrícola de cada região, amostrado na profundidade de 0 a 20 cm, em área de mata ou sem adição calagem, pelo menos nos últimos cinco anos. Com auxílio do ponto de localização fornecido por aparelho de georeferenciamento global (GPS), estimou-se a Ordem e Subordem dos mesmos (Bhering & Santos, 2008), conforme a Tabela 2.

As análises para caracterização física e química das amostras dos solos foram realizadas no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, seguindo metodologia descrita por Embrapa (1997) e Marques & Motta (2003), respectivamente Tabelas 2 e 3. A umidade na capacidade de campo foi obtida através da mesa de tensão (Embrapa, 1997), visando sua manutenção de aproximadamente 80% com adição de água desionizada, nos solos incubados durante o período do experimento.

Empregou-se o ensaio de incubação para lodo de esgoto alcalinizado aplicado ao solo, descrito em Poggere et al. (2012), de acordo com a metodologia oficial, descrita em Brasil (2006). Sendo que para o presente trabalho foi estudado o solo com o tempo de incubação de 60 dias. Cada experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado com cinco doses de lodo de esgoto (0, 10, 20, 40, e 80 Mg ha⁻¹ de ST), em 20 diferentes solos e três repetições.

No Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, foram realizadas as análises de P, Zn e Cu disponível. Para isso, foi utilizada a solução extratora de Mehlich 1 e a determinação por espectrofotometria de absorção atômica para os micronutrientes, e colorimetria para o P. Para determinação do pH utilizou-se solução de CaCl_2 0,01 mol dm^{-3} relação solo/solução (1:2,5) (Tabela 4). Essas análises foram processadas na terra fina seca ao ar (TFSA), seguindo a metodologia da Embrapa (1997).

TABELA 1. Sólidos totais (ST) e pH dos lodos brutos desaguados das 20 regionais, com tratamento anaeróbios, atendidas pela SANEPAR no estado do Paraná, Poder de Neutralização (PN) dos lodos após o processo de higienização e da cal utilizada neste processo.

Local de coleta	ETE ¹	Lodo					
		Bruto desaguado			Caleado		
		ST %	pH	PRL ² Dias	ST %	pH	PN %
Apucarana	Cambará	19,3	7,1	13	29,9	13,0	33
Cascavel	Norte	26,1	8,4	45	76,4	9,5	46
Campo Mourão	Rio km 119	65,5	4,4	35	89,6	12,9	46
Francisco Beltrão	Marrecas	48,5	3,8	34	64,3	13,5	40
Foz do Iguaçu	Ouro Verde	71,0	2,4	60	81,0	12,6	46
Guarapuava	Sul II	52,8	6,9	17	64,7	13,2	54
Londrina	Norte	28,0	4,4	48	45,9	12,8	39
Maringá	Mandacaru	33,6	4,0	28	51,7	13,0	34
Pato Branco	Ligeiro	42,0	4,9	92	56,2	10,4	31
Pinhais (RMC ³)	São Jorge	36,4	6,8	54	50,0	11,6	30
Toledo	Santo Campagnolo	26,7	5,4	21	71,4	9,3	40
Cornélio Procopio	Ribeirão dos Veados	84,7	3,9	68	85,2	13,5	58
Santo Antônio da Platina	Boi Pintado	56,1	2,9	92	71,3	13,5	44
Arapongas	Campinho	43,8	7,8	14	55,4	13,0	41
Matinhos	Matinhos	26,2	6,8	27	84,2	12,2	52
Ponta Grossa	Gertrudes	53,0	5,5	23	48,8	13,1	59
Rio Negro	Estação Nova	54,4	5,5	59	78,3	12,9	47
Telêmaco Borba	Uvaranal	49,0	5,8	38	57,4	13,0	45
Paranavaí	Vila City	23,0	7,9	27	34,7	13,0	42
Umuarama	Pinhalzinho	83,9	5,7	19	65,4	13,8	40
Média		46,2	5,5	40,7	63,09	12,5	43
Material alcalinizante			pH	Ca	Mg	PN	PRNT ⁴
					----- (%)-----		
Cal (óxido de cálcio)			13,3	13,3	12,1	124,5	105,1

¹ ETE = Estação de Tratamento de Esgoto; ² PRL = Período entre a retirada do lodo do reator/descarga no leito de secagem e a amostragem;

³ RMC = região Metropolitana de Curitiba; ⁴ PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

TABELA 2. Coordenadas geográficas, Classe de solos e atributos físicos dos 20 solos utilizados no processo de incubação.

Local da coleta	UTM (m)		Classe de Solos ¹	Areia	Silte	Argila
				----- g kg ⁻¹ -----		
Apucarana	456.955,171 E	7.394.612,926 N	NVef	58	191	750
Cascavel	249.001,000 E	7.241.391,000 N	LVdf	45	103	850
Campo Mourão	366.100,000 E	7.332.334,000 N	LVdf	70	129	800
Francisco Beltrão	291.382,947 E	7.113.323,316 N	LVdf	31	268	700
Foz do Iguaçu	174.8000,2 E	7.179.615,23 N	NVef	24	326	650
Guarapuava	448.843,361 E	7.189.391,509 N	LBd	35	215	750
Londrina	478.967,788 E	7.420.095,255 N	LVdf	40	234	725
Maringá	403.886,678 E	7.417.555,898 N	NVef	51	198	750
Pato Branco	334.260,588 E	7.110.250,438 N	LVdf	19	131	850
Pinhais	687.492,305 E	7.190.979,959 N	LBw	221	129	650
Toledo	225.320,000 E	7.265.121,002 N	LVdf	67	132	800
Cornélio Procopio	543.736.106 E	7.439.821,259 N	NVef	110	439	450
Sto. Antônio da Platina	585.804,549 E	7.414.317,499 N	LVef	300	274	425
Arapongas ⁽²⁾	403.886,678 E	7.417.555,898 N	LVd	701	49	250
Matinhos	739.984,996 E	7.167085,117 N	CXbd	488	211	300
Ponta Grossa	590.282,694 E	7.224.235,084 N	LV	646	78	275
Rio Negro	624.572,248 E	7.114.136.360 N	RRdh	446	328	225
Telêmaco Borba	539.842,960 E	7.306506,491 N	PVAd	391	384	225
Paranavaí	348.005,344 E	7.447.959,751 N	PVd	803	47	150
Umuarama	270.414,254 E	7.366.221,603 N	LVd	767	33	200

(1)Classe de solo predominante na unidade de mapeamento correspondente às coordenadas de coleta da amostra de solo, conforme Bhering & Santos (2008); LVdf = LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico; LBjw = LATOSSOLO BRUNO Ácrico; LBd = LATOSSOLO BRUNO Distrófico; NVef = NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico; RRdh = NEOSSOLO REGOLÍTICO Distro-húmbrico; CXbd = CAMBISSOLO HÁPLICO tb Distrófico; PVAd – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico; LVd = LATOSSOLO VERMELHO Distrófico; LV = LATOSSOLO VERMELHO; (2) Solo coletado no município de Maringá-PR, representativo da regional Arapongas.

TABELA 3. Atributos químicos dos 20 solos utilizados no processo de incubação, correspondente a cada regional atendida pela SANEPAR no estado do Paraná.

Local de Coleta	pH		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	CTC ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	C ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾
	CaCl ₂	SMP	cmolc dm ⁻³						mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%
Apucarana	4,9	5,9	0,1	5,4	4,2	2,3	0,5	12,4	2,2	24,3	20
Cascavel	4,1	5	1,3	10,5	3,6	1,2	0,3	15,6	3,6	30,7	33
Campo Mourão	4,1	5,5	0,9	7,2	1,5	0,8	0,2	9,7	3,4	35,1	23
Francisco Beltrão	4,1	4,3	5,3	17,6	2,5	1,4	0,4	21,9	3,6	19,2	5
Foz do Iguaçu	4,9	6,2	0,1	4,3	4,5	2,1	0,3	11,2	2,5	31,8	22
Guarapuava	4,1	4,9	1,3	12,1	1,9	1,2	0,3	15,5	2,7	38,6	31
Londrina	5,0	6,3	0	4,0	2,6	1,1	0,1	7,8	2,7	15,3	56
Maringá	4,4	5,6	0,3	6,7	4,8	1,8	0,3	13,6	3,6	45,7	26
Pato Branco	3,9	4,6	2,9	14,1	0,5	0,1	0,1	14,8	1,3	46,9	6
Pinhais	4,0	4,7	3,7	15,8	3,1	1,6	0,1	20,6	1,3	65,4	5
Toledo	3,8	5,4	1,5	7,8	2,0	0,9	0,5	11,2	3,7	31,8	7
Cornélio Procópio	4,7	5,4	0,2	7,9	4,0	1,4	0,6	11,4	3,8	25,3	51
Sto. Antônio da Platina	4,5	5,7	0,3	6,3	3,2	1,5	0,2	11,2	3,8	17,2	44
Arapongas ⁽⁵⁾	3,7	5,5	1,2	7,2	1,3	0,5	0,3	9,3	4,2	23,2	49
Matinhos	3,7	5,4	2,3	7,8	0,1	0,2	0,1	8,2	3,2	28,5	62
Ponta Grossa	4,5	6,2	0,3	4,3	1,2	0,6	0,1	6,2	2,4	13,3	22
Rio Negro	3,8	5,2	2,7	9,0	0,2	0,2	0,1	9,5	5,9	30,7	53
Telêmaco Borba	3,8	5,1	2,4	9,7	0,5	0,1	0,1	10,4	2,2	18,2	32
Paranavaí	4,5	6,9	0,2	2,5	0,7	0,4	0,1	3,7	1,4	5,1	31
Umuarama	4,1	5,8	0,7	5,8	1,2	0,4	0,1	7,5	3,1	13,3	23

(1)CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7; (2) P disponível; (3) C orgânico ; (4)V: saturação por bases; (5) Solo coletado no município de Maringá-PR, representativo da regional Arapongas.

TABELA 4. Os valores de pH em CaCl_2 obtidos nos 20 solos após incubação com as doses crescentes dos seus respectivos lodos.

Textura	Locais	Doses de Lodo (Mg ha ⁻¹)				
		0	10	20	40	80
pH (CaCl ₂) após incubação						
Muito argiloso	Apucarana	5,1	5,8	6,2	6,8	7,6
	Cascavel	4,0	4,5	4,9	5,7	6,6
	Campo Mourão	4,0	5,0	5,7	6,5	7,5
	Francisco Beltrão	4,0	4,3	4,5	5,1	6,3
	Foz do Iguaçu	5,1	6,0	6,7	7,6	8,1
	Guarapuava	4,4	4,5	5,2	6,2	7,3
	Londrina	5,0	5,9	6,5	7,2	7,9
	Maringá	4,3	5,4	6,4	7,2	7,6
	Pato Branco	3,8	4,2	4,6	5,4	6,4
	Pinhais	4,2	4,6	4,9	5,5	6,5
	Toledo	3,9	4,7	5,5	6,5	7,3
Argiloso	Cornélio Procópio	4,9	6,3	7,2	7,7	8,2
	Santo Antônio da Platina	5,3	5,9	7,1	7,8	8,2
Média	Arapongas	3,8	5,1	6,6	7,6	8,2
	Matinhos	5,6	6,3	6,8	7,2	7,7
	Ponta Grossa	4,5	6,7	7,8	8,2	8,6
	Rio Negro	5,7	6,2	6,6	7,4	8,2
	Telêmaco Borba	3,8	4,9	5,7	7,2	7,8
	Paranavaí	4,5	7,0	7,1	8,2	8,5
	Umuarama	4,2	6,0	7,3	7,8	8,4

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os teores totais de nutrientes presentes nos lodos foram testados pela estatística descritiva de população. Essas análises foram realizadas por meio do software estatístico Assistat (Silva & Azevedo, 2006).

Para análise da variância dos dados do P, Zn e Cu, utilizou-se o mesmo software, realizando-se o teste de Bartlett, seguido pela análise Anova para o delineamento inteiramente casualizado, 5 (doses de lodo) x 20 (tipo de solos), que quando significativa, resultou na aplicação do teste de regressão. Os dados foram processados pelo software estatístico Assistat. Onde houve interação significativa entre os fatores (doses de lodo e tipo de solos), obteve-se uma única tabela, porém na ausência de interação, os fatores foram analisados separadamente. Após a análise de regressão, quando significativas, as médias dos tratamentos, foram plotadas graficamente, utilizando o programa Excel. As equações e os valores R^2 são apresentados no apêndice do presente trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES DOS LODOS DE ETE'S DE 20 DIFERENTES LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ.

De acordo com os resultados das análises químicas dos 20 diferentes lodos (Tabela 5), destaca-se a presença significativa de carbono orgânico, principalmente considerando que houve diluição com adição de 1/3 de seu volume em cal. Segundo Berton & Nogueira (2010), os esgotos domésticos na fração sólida apresentam 70% de substâncias orgânicas, como proteínas, carboidratos e gorduras e 30% de substâncias inorgânicas.

TABELA 5. Teores totais de nutrientes presentes nos lodos higienizados pelo processo de EAP usados na incubação com os solos da mesma região.

Locais	C	N	C/N	Ca	Mg	K	P	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----			-----g kg-----				-----mg kg ⁻¹ -----			
Apucarana	100,1	8,0	12,5	133,8	16,9	0,48	5,8	36,0	88,0	2519	212,0
Cascavel	189,4	16,0	11,8	143,9	17,5	0,68	7,5	162,7	105,8	2572	307,4
Campo Mourão	127,3	13,1	9,7	139,1	17,3	0,73	5,9	78,9	135,9	2591	258,7
Francisco Beltrão	147,3	14,3	10,3	144,0	17,6	0,43	6,3	69,7	107,5	2567	265,7
Foz do Iguaçu	112,1	10,0	11,2	146,7	17,7	0,44	6,3	41,8	63,7	2609	51,8
Guarapuava	146,2	13,0	11,2	131,8	17,0	0,51	7,1	48,8	190,2	2475	226,1
Londrina	187,8	18,0	10,4	145,6	17,5	0,52	7,7	635,0	148,0	2600	304,0
Maringá	175,6	17,0	10,3	138,0	17,2	0,44	9,5	188,6	68,9	2602	260,5
Pato Branco	145,0	14,0	10,4	127,4	16,9	0,42	7,7	100,8	87,8	2640	254,5
Pinhais	113,0	8,8	12,8	122,5	17,0	0,75	6,7	80,8	117,6	2628	319,0
Toledo	165,6	15,0	11,0	140,5	17,3	0,92	6,0	125,7	94,8	2596	302,4
Cornélio Procopio	101,3	8,0	12,7	150,7	17,7	0,44	6,5	107,7	77,8	2596	96,7
Sto Antônio da Platina	145,3	13,2	11,0	142,3	17,3	0,50	6,7	77,5	127,2	2534	271,4
Arapongas	219,7	22,0	10,0	145,0	17,4	0,72	7,7	103,7	107,7	2532	289,1
Matinhos	145,0	12,8	11,3	163,0	18,6	0,48	6,7	80,9	126,9	2567	288,7
Ponta Grossa	139,2	15,0	9,3	157,3	18,1	0,61	6,9	47,8	147,4	2489	249,0
Rio Negro	110,3	10,0	11,0	140,5	17,5	0,86	7,3	52,9	158,8	2516	256,7
Telêmaco Borba	159,6	17,0	9,4	140,0	17,2	0,83	8,0	69,7	112,4	2525	284,6
Paranavaí	199,2	18,2	10,9	142,0	17,3	0,67	7,0	238,3	120,2	2477	295,9
Umuarama	152,0	12,4	12,3	142,3	17,5	0,55	6,4	137,0	103,0	2456	298,0
Média	150,8	14,0	10,9	142,3	17,5	0,6	7,1	129,8	115,3	2553	253,8
Desvio médio	25,6	2,8	0,8	6,2	0,2	0,13	0,6	74,3	24,2	46	43,7

O N encontrado nos 20 diferentes lodos do estado do Paraná foi, em média, de 13,8 g kg⁻¹ (Tabela 5). Este valor é inferior ao encontrado por Nogueira et al. (2010), em média de 34,11 g kg⁻¹, na ETE Barueri de São Paulo, em estudo de coleta de dados por 9 anos. Já

Chueiri et al., 2007 para ETE Belém situada em Curitiba, tratamento aeróbio, encontraram 30,9 g kg de N em lodo alcalinizado. Também a presença de menores teores de N, nos lodos do presente trabalho, pode ser devida ao método de higienização utilizado no lodo EAP, pois segundo Berton & Nogueira (2010), lodos quando higienizados por estabilização alcalina possuem menos N devido às perdas por volatilização da amônia (NH_3).

A baixa relação C/N média, igual a 11/1 (Tabela 5), demonstra provavelmente que esse material encontra-se estabilizado. Segundo Goyal et al., (2005), quando a decomposição atinge uma relação 12/1, isto indica uma estabilização do material que sofreu compostagem. Assim como os resultados obtidos no presente trabalho de baixa relação C/N, Serrat et al. (2011) apresentaram um levantamento do ano de 2008 da SANEPAR, demonstrando que em 21.683 Mg de lodo EAP destinados para a agricultura, a média final da análise dos lotes apresentaram relação média C/N de 7/1.

A presença de altos teores de Ca no lodo, em média 141,8 g kg⁻¹ (Tabela 5), pode ser atribuída ao método de higienização utilizado, que faz uso da cal (CaO) na concentração de 50% em relação ao sólidos totais (ST) do lodo, sendo o volume final da mistura constituído por 1/3 de óxido de cálcio. Para ilustrar a alta concentração de Ca presente em lodos higienizados por EAP, pode-se mencionar os teores de Ca presentes no lodo higienizado por compostagem termofílica, usado no trabalho de Galdos et al. (2004): em média, 11,05 g kg⁻¹, valores mais de 10 vezes inferiores ao verificado no lodo higienizado por EAP.

O Mg apresentou a média de 17,4 g kg⁻¹ (Tabela 5). Este valor não é tão expressivo quanto o de Ca, mas superior ao de lodos que sofreram higienização por outro método que não por EAP. No estudo de Galdos et al. (2004), o lodo higienizado por compostagem termofílica apresentou, em média, 1,9 g kg⁻¹ de Mg. Também Berton & Nogueira (2010) encontraram, em média, teores de 3,14 g kg⁻¹ de Mg, nos lodos da ETE's Barueri e Franca, ambos em São Paulo. A presença mais significativa de Mg nos lodos EAP pode ser devida à presença de Mg nos minerais carbonatados, pois a calcinação concentra esse Mg, que está presente na rocha que deu origem a esse material.

Dentre os macronutrientes analisados, o K apresentou os menores teores totais, com o valor igual a, em média, 0,6 g kg⁻¹ (Tabela 5). Esse resultado foi observado também em pesquisas realizadas por Oliveira et al. (1995) e Nascimento et al. (2004). Muitos trabalhos mostraram a necessidade de complementação com fertilizantes potássicos quando se faz uso do lodo de ETE em culturas exigentes em K (Nogueira et al., 2006; Simonete et al., 2003). Os

baixos teores de K no lodo podem ser uma consequência da permanência deste elemento em solução, sendo com isso eliminado juntamente com a água residual do tratamento de esgoto, permanecendo assim pouco deste elemento no lodo de esgoto (Tsutiya, 2001).

O teor total de P nos 20 lodos foi, em média, de 7 g kg^{-1} (Tabela 5). Foi encontrada pouca diferença entre os teores de fósforo total nessas 20 diferentes ETE's; o menor valor encontrado foi de $5,8 \text{ g kg}^{-1}$ para a regional de Apucarana e o maior valor de $9,5 \text{ g kg}^{-1}$ para a regional de Maringá. O desvio médio apresentado pelo P nos 20 diferentes lodos está entre os menores valores apresentados entre todos os nutrientes analisados (Tabela 5). Os teores de P encontrados estão próximos aos apresentados por Galdos et al. (2004): em média $6,9 \text{ g kg}^{-1}$ para os dois anos de coleta de lodos provenientes da ETE Jundiaí de São Paulo. Silva et al. (2010b) analisaram lodo proveniente da ETE Belém e encontraram teores totais de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$, mas esse lodo foi higienizado por N-Viro (processo de estabilização alcalina avançada com subsequente secagem acelerada). Já Nogueira et al. (2010), em levantamento de P total ao longo de nove anos na ETE Barueri, encontraram valores superiores: em média, $17,1 \text{ g kg}^{-1}$. Vieira et al. (2005) também utilizam o lodo da ETE Barueri e afirmam que esta ETE recebe esgotos domésticos e também esgotos industriais. O P do lodo proveniente do esgoto doméstico possui origem em restos de comida, dejetos humanos e no uso de detergentes, o que resulta em uma concentração de P bastante variável, em função dos hábitos e situação econômica da população envolvida (Nóbrega, 2009). No entanto, os lodos de ETE analisados nos 20 municípios distribuídos em todo o estado do Paraná neste trabalho, não apresentaram grandes diferenças nos teores de P (Tabela 5).

Para o metal pesado Cu, os teores totais foram, em média, $124,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Ocorrendo uma diferença considerável entre o menor teor (36 mg kg^{-1}), para ETE de Apucarana, e o maior teor (635 mg kg^{-1}), para ETE de Londrina (Tabela 5). O desvio médio apresentado por esse elemento nos 20 lodos analisados foi o maior entre todos os nutrientes (Tabela 5). A diferença nos teores dos nutrientes de uma ETE para outra pode ser atribuída à sazonalidade na geração do lodo, ao lançamento autorizado pelo órgão fiscalizador de efluentes de pequenas indústrias na rede coletora e a diferença entre os lotes de lodo (Berton & Nogueira, 2010). Os teores de Cu total presentes nos 20 lodos analisados estão abaixo do valor máximo permitido pela Resolução Sema 021/2009 (Paraná, 2009), que é de 1000 mg kg^{-1} .

Para o metal pesado Zn, os teores totais foram, em média, $254,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 5). Esse metal também apresenta uma grande diferença entre os teores máximo e mínimo; o

menor valor é de 51,8 mg kg⁻¹ para o lodo da ETE da regional de Foz de Iguaçu e o maior valor é de 319 mg kg⁻¹, encontrado na regional da ETE de Pinhais na Região Metropolitana de Curitiba. O desvio médio apresentado por esse elemento também é um dos maiores apresentados entre os nutrientes nos 20 lodos analisados (Tabela 5). Mesmo os maiores valores apresentados estão aquém do valor máximo permitido pela Resolução Sema 021/2009 (Paraná, 2009), que é de 2500 mg kg⁻¹.

Segundo Bittencourt et al. (2010), em 105 lotes de lodo de esgoto da Região Metropolitana de Curitiba, analisados entre 2004 e 2008, os níveis de Cu e Zn apresentavam-se em todos os lotes valores 50% abaixo do máximo permitido pela resolução Sema 021/09 (Paraná, 2009). Segundo os mesmos autores, em 2008, a SANEPAR realizou uma coleta de dados em 52 ETE's do interior do estado do Paraná, tendo como resultados: 94,2% das ETE's apresentaram teores de Cu menores que 50% em relação ao máximo permitido pela legislação estadual, 98,1% das ETE's apresentaram teores de Zn menores que 50% em relação ao máximo permitido pela legislação estadual.

O teor total de Fe apresentou a maior concentração entre os micronutrientes analisados nos 20 diferentes lodos: em média, 2555 mg kg⁻¹ (Tabela 5). Garcia et al. (2011) encontraram o valor de 413 mg kg⁻¹ para lodo de uma estação de ETE do estado de Espírito Santo. É importante mencionar que, no presente trabalho, não foi utilizado o cloreto férrico (FeCl₃) no tratamento do lodo. Quando se utiliza esta substância os lodos apresentam teores de ferro significativamente mais altos: Araujo et al. (2009) encontraram 33793 mg kg⁻¹ e Pigozzo et al. (2004) encontraram 42800 mg kg⁻¹ de Fe no lodo utilizado em seus estudos.

Os teores médios totais de Mn foram de 114,5 mg kg⁻¹. Resultado semelhante (118 mg kg⁻¹) foi observado por Garcia et al. (2012), em análise de lodo proveniente de esgoto doméstico no Espírito Santo. Os teores de Mn e Fe não têm os valores máximos de concentração limitados pela legislação.

A partir dos resultados apresentados, não foi verificada a presença de Cu e Zn em teores próximos aos máximos permitidos pela legislação, mesmo em lodos de grandes centros urbanos como Londrina, Maringá e Região Metropolitana de Curitiba. Segundo Bittencourt et al. (2010), o controle e a fiscalização pelo órgão ambiental (Instituto Ambiental do Paraná – IAP) são frequentes, para que não aconteça o aporte de esgoto industrial irregular na rede de coleta pública atendida pela SANEPAR. Os teores de Zn e Cu no lodo de esgoto, obtidos no presente trabalho atendem aos limites da Legislação para o seu uso agrícola.

3.2 DISPONIBILIDADE DE P EM SOLOS DE 20 LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ APÓS INCUBAÇÃO COM DOSES CRESCENTES DO LODO EAP DE CADA LOCAL.

A incubação dos 20 diferentes solos do estado do Paraná, até 80 Mg ha⁻¹ do respectivo lodo de uma ETE de cada local, provocou aumento dos teores disponíveis de P dos níveis geralmente baixos e médios, nos solos originais, para níveis altos e muito altos (CQFS-RS/SC, 2004), conforme pode ser visualizado na Tabela 6.

TABELA 6. Teores de fósforo disponível em solos de 20 locais do estado do Paraná em função de doses crescentes de lodo de seus respectivos locais e as equações de regressões linear ou quadrática, de melhor ajuste da variável de P disponível em relação as doses de lodo aplicadas.

G. T. ⁽¹⁾	Locais	Doses de Lodo ETE (Mg ha ⁻¹)					Linear	Quadrática	Equação	R ²	CV%
		0	10	20	40	80					
Muito argiloso	Apucarana	2,3 #	4,3	6,6	11,1	19,6 //	**	**	y = 0,2176x + 2,2592	0,99	11,8
	Cascavel	3,4 #	4,6	6,0	10,3	16,7 //	**	**	y = 0,171x + 3,0767	0,99	12,2
	Campo Mourão	4,5 #	4,2	5,1	9,8	16,3 //	**	**	y = 0,1606x + 3,1558	0,96	16,1
	Francisco Beltrão	4,0 #	5,57	6,4	7,9	13,67 //	**	**	y = 0,2047x + 13,473	0,98	12,8
	Foz do Iguaçu	2,5 #	8,9	4,0	7,7	12,6 //	*	ns	y = 0,1037x + 4,0433	0,66	46,9
	Guarapuava	6,0 ##	3,9	3,0	6,9	8,5 /	*	**	y = 0,001x ² - 0,0269x + 4,9	0,62	31,6
	Londrina	3,1 #	4,8	7,4	14,4	21,0 //	**	**	y = 0,2333x + 3,1425	0,98	6,3
	Maringá	6,6 /	13,3	28,8	50,4	63,9 //	**	*	y = 0,7368x + 10,482	0,92	10,8
	Pato Branco	3,1 #	5,2	6,2	8,0	13,2 //	**	**	y = 0,1202x + 3,5217	0,99	4,9
	Pinhais (RMC) ²	2,5 #	3,7	3,8	4,3	7,0 /	**	**	y = 0,0507x + 2,7333	0,95	8,2
Argiloso	Toledo	9,3 /	8,2	10,8	17,6	30,6 //	**	**	y = 0,2881x + 6,6575	0,96	25,2
	Cornélio Procópio	10,7 /	11,3	14,9	22,6	32,5 //	**	**	y = 0,2882x + 9,7483	0,99	16,2
Média	St Ant da Platina	4,4 #	5,1	11,8	17,4	19,9 //	**	ns	y = 0,2043x + 5,5767	0,85	7,9
	Arapongas	9,4 ##	13,9	27,6	50,4	66,1 //	**	**	y = 0,7429x + 11,193	0,94	5,2
	Matinhos	6,7 ##	9,3	12,5	18,6	33,8 //	**	**	y = 0,3409x + 5,9392	0,99	22,1
	Ponta Grossa	4,5 ##	5,4	7,5	11,3	10,9 ##	*	ns	y = 0,0848x + 5,395	0,75	5,8
	Rio Negro	15,7 /	14,7	15,3	21,9	30,4 //	**	*	y = 0,2047x + 13,473	0,94	19,3
	Telêmaco Borba	4,8 #	5,7	8,10	18,2	28,9 //	**	**	y = 0,3223x + 3,47	0,98	3,1
	Paranavaí	2,2 Ω	11	20,0	25,8	54,9 //	**	ns	y = 0,6289x + 3,9125	0,98	38,9
	Umuarama	5,1 Ω	11,3	19,3	31,2	56,0 //	**	**	y = 0,6355x + 5,5217	0,99	3,8

¹ G. T. = Grupamento Textural; ²RMC = Região Metropolitana de Curitiba; segundo a CQFS-RS/SC, 2004, // = níveis muito altos de P disponível no solo; / = níveis altos de P disponível no solo; ## = níveis médios de P disponível no solo; # = níveis baixos de P disponível no solo; Ω = níveis muito baixos de P disponível no solo; ns Não-significativo; * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; cv = coeficiente de variação.

A disponibilidade do P dos solos, nas doses seguindo o critério do pH, ou seja, da taxa de aplicação máxima anual (TAMA) de Lodo EAP, obtido pela curva de incubação para pH 7 (Poggere et al., 2012), também mostrou na maioria das vezes um aumento para os níveis altos e muito altos (CQFS-RS/SC, 2004), podendo ser considerado nessas doses como adubação corretiva. Os mesmos resultados foram observados por Galdos et al. (2004) em um Latossolo e por Kitamura et al. (2008) na recuperação de áreas degradadas. Muitos trabalhos em diferentes condições de campo ou incubados, demonstraram a capacidade do lodo de ETE ser fonte do nutriente fósforo (Barbarick & Ippolito, 2000; Corrêa et al., 2005; Terhoeven-Urselmans et al., 2009). Alguns trabalhos demonstram a maior eficiência do lodo de ETE como fonte de P, em média de 18% à 25% superior, em relação à fonte de fertilizantes minerais (Silva et al., 2002; Lemainski & Silva, 2006).

Nos vinte solos incubados com lodo analisados neste trabalho, a exceção aconteceu para os solos de Umuarama e Paranavaí no que diz respeito às doses de TAMA. Nestes dois solos, os teores disponíveis de P são baixos (Tabela 7). Entretanto, mesmo que essas doses limitadas pela TAMA não permitam níveis altos ou muito altos no solo, a aplicação de lodo em solos que apresentam maiores teores de areia, precisam de uma atenção especial. Nos solos arenosos a preocupação é aumentar a resistência de liberação da fração lábil para que não ocorram perdas por lixiviação do P (Chardon et al., 2007). Novak & Watts (2004) destacam o efeito positivo da aplicação de lodo de esgoto sobre o aumento da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) em solos arenosos e redução de perdas do nutriente por lixiviação.

Já nos solos argilosos, níveis muito altos de fósforo são problemáticos quando ocorre erosão hídrica na lavoura, provocando o transporte de colóides minerais, os quais causam a eutrofização de mananciais hídricos (Gessel et al., 2004; Ceretta et al., 2005). Assim, é necessário cuidado na aplicação do lodo, pois na prática as doses de lodo são calculadas com base nas necessidades de N das culturas, não levando em conta a necessidade de P ou o destino de P aplicado como resíduo (Munhoz & Berton, 2006; Ippolito et al., 2007).

TABELA 7. Teores totais de P presente no lodo EAP e a doses máximas permitidas seguindo a TAMA, teores disponíveis no solo resultantes dessas doses, o total de fósforo aplicado na dose da TAMA e na dose máxima do trabalho (80 Mg ha⁻¹) e porcentagem de P recuperado em relação ao adicionado.

G.T. ¹	Locais	Teores de P no lodo	Doses de lodo permitidas pela TAMA ²	P disponível após uso das doses TAMA	P adicionado ao solo dose TAMA	P adicionado ao solo dose 80 Mg ha ⁻¹	Recuperado pelo extrator na TAMA	Recuperado pelo extrator dose 80 Mg ha ⁻¹
		g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	mg dm ⁻³	kg ha ⁻¹		%	
Muito argiloso	Apucarana	5,8	47,1	12,50 //	272,1	462,1	6,4	7,5
	Cascavel	7,5	80	16,70 //	600,3	600,3	4,4	4,4
	Campo Mourão	5,9	46,5	10,62 /	275,1	473,3	3,9	5,0
	Francisco Beltrão	6,3	80,0	13,70 //	503,2	503,1	3,8	3,8
	Foz do Iguaçu	6,3	22,4	6,36 /	142,1	507,6	2,1	4,0
	Guarapuava	7,1	59,3	6,93 /	420,8	567,7	0,4	0,9
	Londrina	7,7	22,7	8,43 /	173,8	612,5	5,0	5,9
	Maringá	9,5	27,6	31,70 //	263,4	763,4	16,9	15
	Pato Branco	7,7	68,8	11,79 /	530,2	616,5	3,8	3,3
	Pinhais (RMC) ²	6,7	74,2	6,40 /	494,4	533,1	1,8	1,8
Argiloso	Toledo	6,0	52,4	21,75 //	312,5	477,1	5,3	8,9
	Cornélio Procopio	6,5	15,4	14,18 /	100,6	522,7	1,2	8,3
Média	Sto Ant. da Platina	6,7	25,4	10,76 /	169,6	534,2	8,8	5,8
	Arapongas	7,7	21,2	26,94 //	163,3	616,1	22,3	18,4
	Matinhos	6,7	36,5	18,38 /	243,4	533,6	4,7	10,1
	Ponta Grossa	6,9	10,8	6,310 ##	74,2	550,1	2,5	2,3
	Rio Negro	7,3	38,5	21,35 /	281,9	585,8	-0,3	5,0
	Telêmaco Borba	8,0	28,6	12,68 /	227,4	636,1	2,9	7,6
	Paranavaí	7,0	12,3	11,64 #	85,7	557,7	20,5	18,9
	Umuarama	6,4	10,0	11,3 #	63,8	510,3	19,2	19,9

¹G. T. = Grupamento Textural; ²RMC = Região Metropolitana de Curitiba; ²TAMA = taxa de aplicação máxima anual de Lodo EAP obtidas pela curva de incubação, para pH 7; Segundo a CQFS-RS/SC, 2004, // = nível muito alto de P disponível no solo; / = nível alto de P disponível no solo; ## = nível médio de P disponível no solo; # = nível baixos de P disponível no solo.

As doses dos lodos tiveram um efeito linear na disponibilidade de P em 19 dos 20 solos estudados. A exceção foi o solo de Guarapuava que se ajustou ao modelo quadrático (Tabela 6). O ajuste entre P disponível e as doses de lodo aplicadas foi elevado para a maioria dos solos, indicando que existe uma relação consistente entre as doses de lodo e a disponibilidade de fósforo (Tabela 6). As exceções foram os solos de Guarapuava, Foz do Iguaçu e Ponta Grossa, com os valores de R² de 0,66; 0,62 e 0,75 respectivamente, mas ainda sendo significativa a influência das doses dos lodos na disponibilidade de P nesses solos (Tabela 6).

Muitos trabalhos mostram a ocorrência de um aumento linear na disponibilidade P no solo (Nascimento et al., 2004; Vieira et al., 2005; Corrêa & Bento, 2010).

As diferentes respostas de disponibilidade do P provavelmente sofreram pequena influência dos teores totais presentes no lodo, pois esses variaram de 5,8 g kg⁻¹ a 9,5 g kg⁻¹ (Tabela 7). A quantidade de P total aplicado ao solo com os lodos na dose máxima (80 Mg ha⁻¹), usada neste trabalho, variou de 462 a 763,4 kg ha⁻¹. Estes valores podem ser considerados muito altos, já que a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004) recomenda aplicar de 55 a 50 kg ha⁻¹ de P, quando o nível deste nutriente disponível no solo for muito baixo. Estes valores recomendados estão muito aquém das quantidades de P aplicadas por esses lodos mesmo quando as taxas de aplicação forem limitadas pela TAMA (Tabela 7). Cabe lembrar que o critério do nitrogênio poderá ser mais restritivo no caso das doses mais elevadas da TAMA.

As taxas de recuperação pelo extrator Mehlich 1 dos teores totais adicionado pelo lodo na maior dose (80 Mg ha⁻¹), geralmente alcançaram 3,3 a 8,9% nos solos muito argilosos e argilosos, com exceção dos solos de Guarapuava com 0,9%, Pinhais 1,8% e Maringá 15% (Tabela 7). A presença de teores consideráveis de argila nesses solos faz com que aconteça uma maior adsorção de P (Machado et al., 2011), provocando menor disponibilização do nutriente.

O solo de Guarapuava foi o que apresentou a menor taxa de recuperação pelo extrator do P entre os 20 solos em estudo (Tabela 7). Mostrando que esse solo possui um alto poder tampão de P. Segundo Rolim Neto et al. (2004), o poder tampão de P do solo está mais relacionado com a mineralogia da argila do que com seus teores totais. Segundo os mesmos autores, um fator determinante de adsorção de P nos latossolos brasileiros pode ser a presença de gibbsite no solo. Assim, o elevado grau de intemperismo e abundância de goethita e gibbsite encontrados nos solos de Guarapuava, superiores aos comumente verificados em outros tipos de solo formados a partir do mesmo material de origem (Bayer et al., 2006), podem explicar os menores acréscimos no P disponível no solo.

O solo de Pinhais também apresentou uma pequena taxa de recuperação pelo extrator, a segunda menor taxa entre os 20 solos analisados (Tabela 7). Esse pequeno aporte de P pode ser devido ao alto valor de carbono orgânico presente neste solo: 65 g dm⁻³ (Tabela 3). Além desse carbono orgânico presente no solo, ainda existe o carbono orgânico que foi acrescentado com a aplicação do lodo (Tabela 5). Esta menor disponibilização de P se

justifica pelo fato da matéria orgânica em alta quantidade poder aumentar a adsorção de fosfato. A razão geralmente citada para esse fato é que os íons orgânicos carregados negativamente compartilham as valências dos cátions (Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+}), fazendo pontes com íons fosfatos, retendo o P (Novais & Smyth, 1999). Alguns trabalhos têm demonstrado a correlação positiva entre a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e o teor de matéria orgânica (Valladares et al., 2003; Moreira et al., 2006).

No outro extremo, o solo de Maringá, que também faz parte dos solos muito argilosos, apresentou uma resposta de um solo de textura média, com altos teores de areia na recuperação de P pelo extrator (Tabela 7). Essa semelhança com os solos de textura média pode ser devida à presença de argilominerais 2:1. Broggi et al. (2011) em sua pesquisa mineralógica de 4 diferentes solos, observaram que no solo que apresentava argilominerais 2:1, mesmo com alto teor de argila, o P em solução era alto e o seu poder tampão de P era baixo, indicando características de um solo com altos teores de areia.

Nos solos de textura média, as taxas de recuperação pelo extrator de P dos solos originais para a dose máxima utilizada neste trabalho (80 Mg ha^{-1}), foram de 2,3 % a 19,9%. Nesses solos, provavelmente o principal fator que influenciou a disponibilidade de P foi o pH atingido após a incubação dos solos com doses crescentes de lodo (Tabela 4). O solo de Ponta Grossa foi o solo que apresentou a menor taxa de recuperação P (2,3%) do total do nutriente adicionado com as crescentes doses de lodo. A disponibilidade de P neste experimento se assemelha à dos solos de textura muito argilosa, apresentando uma grande capacidade de CMAP, não ocorrendo uma disponibilidade significativa do elemento P, como nos demais solos de mesma textura. É possível que este comportamento atípico do solo de Ponta Grossa esteja relacionado ao pequeno poder tamponante de pH, devido aos baixos valores de carbono orgânico nesse solo ($13,3 \text{ mg dm}^{-3}$), fazendo com que o pH alcance valores básicos nas primeiras doses (Tabela 4). O aumento do pH, aliado aos altos valores de Ca adicionados através da cal, pode formar fosfatos bicálcicos e tricálcicos de baixa solubilidade, provocando aumento na CMAP (Novais & Smyth, 1999).

O solo de Umuarama entre os de textura média, foi o que apresentou maior taxa de recuperação pelo extrator Mehlich 1, indicando que 19,9% do total adicionado de P pelo lodo pode se tornar disponível, provavelmente devido ao alto teor de areia (767 g kg^{-1}) presente. Com isso, apresentou um comportamento similar ao verificado nos solos com altos teores de areia como de Arapongas e Paranavaí (Tabela 2): 18,4 e 18,9% respectivamente, de aumento

nos teores disponíveis com a dose de 80 Mg ha⁻¹ de lodo. Esses solos com maiores teores de areia apresentam liberação do nutriente para a solução do solo e a diminuição do nutriente na forma lábil, possuindo uma baixa CMAP (Novak & Watts, 2004).

3.3 DISPONIBILIDADE DE Zn EM SOLOS DE 20 LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ APÓS INCUBAÇÃO COM DOSES CRESCENTES DO LODO EAP DE CADA LOCAL.

Os 20 solos amostrados em sua maioria originalmente já apresentavam um nível de Zn considerado médio a alto (Tabela 8), segundo Costa & Oliveira (1998) na interpretação da análise de solo para micronutrientes estado do Paraná, utilizando o extrator Mehlich 1. Dentre os solos que apresentaram originalmente maiores teores disponíveis de Zn foram os solos muito argilosos (Tabela 8). Este comportamento está relacionado com o material de origem do solo, o basalto, já que essas rochas apresentam uma considerável reserva de Zn (Santos Filho, 1983; Motta et al., 2007). Os teores disponíveis de Zn apresentados nos 20 solos nas doses recomendadas pela TAMA e nas maiores doses usadas no trabalho, embora atinjam valores considerados altos (Tabela 8), não atingem valores disponíveis no solo acima de 30 mg dm⁻³ considerado em excesso segundo Costa & Oliveira (1998).

As doses crescentes de lodo apresentaram efeito linear na disponibilidade de Zn em 17 solos dos 20 solos analisados (Tabela 8). Resultados semelhantes com relação à disponibilidade linear de Zn foram apresentados no trabalho de Araújo & Nascimento (2005), em um Latossolo e Argissolo, com aplicação de doses crescentes de lodo não alcalinizado e incubados. Martins et al. (2003), também encontraram aumento linear na disponibilidade de Zn com aplicação de doses crescentes de lodo em experimento em condições de campo em solo com correção de acidez. As exceções ocorreram para os solos de Foz do Iguaçu, Guarapuava e Santo Antônio da Platina, onde as doses crescentes de lodo não apresentaram efeito na disponibilidade desse elemento (Tabela 8).

TABELA 8. Teores de zinco disponível em solos de 20 locais do estado do Paraná em função de doses crescentes de lodo de seus respectivos locais e as equações de regressões linear ou quadrática, de melhor ajuste da variável de Zn disponível em relação as doses de lodo aplicadas.

G.T. ⁽¹⁾	Locais	Doses de Lodo ETE (Mg ha ⁻¹)					Linear	Quadrática	Equação	R ²	CV%
		0	10	20	40	80					
Muito argiloso	Apucarana	4,7 //	6,4	7,7	9,6	15,5 //	**	**	y = 0,1313x + 4,8692	0,99	3,2
	Cascavel	3,5 //	5,2	7,2	11,3	17,3 //	**	**	y = 0,174x + 3,6733	0,99	4,8
	Campo Mourão	1,6 /	1,4	1,6	2,3	4,3 //	**	**	y = 0,038x + 1,1067	0,94	10,3
	Francisco Beltrão	1,2 ##	1,4	1,9	2,9	5,1 //	**	**	y = 0,051x + 0,9767	0,99	11,3
	Foz do Iguaçu	3,0 //	2,6	2,9	3,2	2,9 //	ns	ns	-----	-----	14,1
	Guarapuava	2,9 //	4,0	3,0	3,1	5,1 //	ns	ns	-----	-----	3,11
	Londrina	1,6 /	3,2	6,0	10,1	15,6 //	**	**	y = 0,178x + 1,96	0,98	4,5
	Maringá	4,1 //	4,2	5,8	8,8	10,3 //	**	**	y = 0,0851x + 4,0942	0,91	5,8
	Pato Branco	1,2 ##	3,4	2,3	3,1	5,9 //	**	ns	y = 0,0504x + 1,6875	0,81	33,6
	Pinhais (RMC) ²	3,6 //	4,6	6,0	4,8	6,8 //	*	ns	y = 0,0329x + 4,1792	0,67	27,9
Argiloso	Toledo	1,7 /	3,5	5,6	8,8	14,5 //	**	**	y = 0,1599x + 2,0358	0,99	5,5
	Cornélio Procopio	3,5 //	3,8	4,2	5,4	6,9 //	**	**	0,0435x + 3,455	0,99	8,3
	St Ant da Platina	2,5 /	3,0	8,5	5,5	3,5 //	ns	ns	-----	-----	6,4
Média	Arapongas	3,6 //	3,4	5,6	11,0	18,3 //	**	**	y = 0,1978x + 2,4475	0,97	10,8
	Matinhos	1,7 /	2,3	3,7	5,0	6,4 //	**	ns	y = 0,0587x + 2,08	0,93	14,5
	Ponta Grossa	2,4 //	2,8	3,5	5,8	7,6 //	**	**	y = 0,0688x + 2,3817	0,97	4,1
	Rio Negro	1,5 ##	2,4	2,5	2,7	6,2 //	**	**	y = 0,0558x + 1,4008	0,91	23,7
	Telêmaco Borba	1,2 ##	3,3	2,9	6,3	10,4 //	**	**	y = 0,1133x + 1,44	0,97	17,8
	Paranavaí	0,7 #	6,6	9,5	12,5	17,8 //	**	ns	y = 0,1917x + 3,6767	0,89	9,9
	Umuarama	1,8 /	3,3	5,5	8,0	12,3 //	**	**	y = 0,1303x + 2,2767	0,98	5,36

¹ G. T. = Grupamento Textural; ²RMC = região Metropolitana de Curitiba; segundo Costa & Oliveira (1998) // = nível alto de Zn disponível no solo; / = nível bom de Zn disponível no solo; ## = nível médio de Zn disponível no solo # = nível baixo de Zn disponível no solo;

^{ns} Não-significativo; * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; cv = coeficiente de variação.

O lodo EAP tem dupla ação sobre a disponibilidade de Zn. A primeira ação é o aumento da sua disponibilidade no solo em consequência dos teores presentes no lodo. A segunda ação é a diminuição da disponibilidade do Zn pela elevação do pH, em consequência da cal usada na higienização dos lodos. Em 17 solos aconteceu aumento da disponibilidade de Zn no solo, provavelmente resultado da adição de Zn via lodo prevalecendo sobre o aumento do pH.

O lodo de Foz de Iguaçu foi o lodo que apresentou o menor teor total de Zn (51,8 mg kg⁻¹) entre os 20 lodos analisados (Tabela 10). Isso provavelmente foi devido às doses de lodo não promoverem efeito significativo na disponibilidade de Zn, quando incubadas com o solo (Tabela 10). Aliado aos baixos teores de Zn do lodo de Foz do Iguaçu, esse solo já á partir da

segunda dose (20 Mg ha⁻¹), alcançou o pH de 6,7 (Tabela 4), e segundo Stahl & James (1991), na faixa de pH entre 5,6 e 5,9 acontece uma mudança repentina do Zn trocável para o não trocável. Nas demais doses aplicadas, o solo alcança o pH básico, e quando isto começa acontecer, provoca a diminuição da forma disponível de Zn, ocorrendo a precipitação de formas insolúveis, como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos (Nachtigall et al., 2009).

O solo de Guarapuava foi outro em que as doses de lodo não apresentaram efeito na disponibilidade de Zn do solo, mas diferente do solo discutido anteriormente, o lodo possui considerável teor do nutriente (226 mg kg⁻¹), não influenciando esse resultado. Os fatores que podem ter influenciado, assim, como observado para P, a combinação de textura argilosa, alto teor de matéria orgânica e ocorrência de elevada quantidade de óxidos de Fe (goethita) e Al (gibbsite) (Bayer et al., 2006), conferem ao solo uma elevada capacidade de adsorção específica do Zn. Trabalhos utilizando a extração sequencial mostram o aumento da adsorção de Zn na fração dos óxidos do solo com a utilização de calagem nos mesmos (Nascimento et al., 2002; André et al., 2003).

A ausência de resposta para as doses de lodo na disponibilidade de Zn no solo de Santo Antônio da Platina não era esperado, uma vez que esse apresenta baixo teor de argila e carbono orgânico (Tabela 2 e 3) e também possuía teores consideráveis de Zn no lodo (Tabela 10). Provavelmente, o fator que mais influenciou para que essas doses de lodo não alterassem significativamente a disponibilidade de Zn no solo foi o pH neutro atingido já na segunda dose de lodo (Tabela 4).

A alta concentração de Zn no lodo de Pinhais apresentou o maior teor total (319 mg kg⁻¹) dos 20 lodos analisados. No entanto, isto não provocou uma alta disponibilidade de Zn, conforme ocorreu nos solos de Cascavel, Londrina e Toledo, que apresentaram teores totais de Zn (Tabela 10) próximos aos de Pinhais. O solo de Pinhais sofre a influência do alto teor de carbono orgânico presente no solo (65 g dm⁻³). Segundo Alloway (1995), as substâncias húmicas apresentam alto grau de seletividade por micronutrientes, neste caso, uma maior afinidade pelo cobre e uma menor pelo Zn, mas formando complexos de esfera interna com os dois elementos. Ainda, Melo et al. (2008), em estudo com um solo incubado simulando contaminação com metais pesados e aplicando a extração sequencial, verificaram que, após a calagem dos solos, aconteceu uma redução média de 89% do Zn na fração trocável, passando para Zn retido na matéria orgânica.

A taxa de recuperação pelo extrator Mehlich 1 para a dose máxima (80 Mg ha⁻¹), geralmente alcançou 6,4% a 15% nos solos muito argilosos e argilosos, com exceção para os solos de Cascavel com 28%, Londrina 28,9% e Toledo 26,9% (Tabela 9). Esses três solos com as maiores taxas de recuperação foram os que receberam os lodos com os maiores teores de Zn (Tabela 9). As taxas de recuperação pelo extrator foram altas nesses solos, mesmo esses solos apresentando um alto poder de adsorção específica de Zn, por apresentarem altos teores de argila (Tabela 2) e maior presença de óxidos (Nascimento & Fontes, 2004; Motta et al., 2007). Com os resultados obtidos no presente trabalho, confirma-se que a disponibilidade de zinco é dependente tanto dos atributos dos solos, como também do teor do nutriente presente em cada lodo.

TABELA 9. Teores totais de Zn presentes no lodo EAP, total de Zinco aplicado por hectare na dose máxima do trabalho (80 Mg ha⁻¹) e na dose TAMA, teores disponíveis de Zn na dose TAMA e porcentagem do Zn recuperado em relação ao adicionado.

G.T. ¹	Locais	Teores Zn no lodo	Adicionado ao solo dose 80 Mg ha ⁻¹	Adicionado ao solo na TAMA	Disponível no solo com TAMA	Recuperado com extrator na TAMA	Recuperado extrator dose 80 Mg ha ⁻¹
		mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹		mg dm ⁻³	%	
Muito argiloso	Apucarana	212	17,0	10,0	11,1	31,8	31,8
	Cascavel	307,4	24,6	24,6	17,1	27,7	28,1
	Campo Mourão	258,7	20,7	12,0	2,9	5,7	6,8
	Francisco Beltrão	265,7	21,3	21,3	5,1	9,2	9,2
	Foz do Iguaçu	51,8	4,1	1,2	-----	-----	-1,2
	Guarapuava	226,1	18,1	13,4	-----	-----	6,1
	Londrina	304,0	24,3	6,9	6,0	31,9	28,8
	Maringá	260,5	20,8	7,2	6,4	16,3	14,9
	Pato Branco	254,5	20,4	17,5	5,2	11,3	11,5
	Pinhais (RMC) ²	319	25,5	23,7	6,6	6,4	6,3
	Toledo	302,4	24,2	15,8	10,4	27,5	26,5
Argiloso	Cornélio Procopio	96,7	7,7	1,5	4,1	21,0	22,0
	Sto Ant. da Platina	271,4	21,7	6,9	-----	-----	2,3
Média	Arapongas	289,1	23,1	6,1	6,6	24,8	31,8
	Matinhos	288,7	23,1	10,5	4,2	12,0	10,2
	Ponta Grossa	249,0	19,9	2,7	3,1	13,5	13,1
	Rio Negro	256,7	20,5	9,9	3,5	10,4	11,4
	Telêmaco Borba	284,6	22,8	8,1	4,7	21,4	20,2
	Paranavaí	295,9	23,7	3,6	6,0	73,3	36,1
	Umuarama	298,0	23,8	3,0	3,3	25,2	22,0

¹G. T. = Grupamento Textural; ²RMC = Região Metropolitana de Curitiba

Os solos de textura média apresentaram taxas de recuperação pelo extrator entre 10% e 13%, com exceção dos solos de Arapongas, com taxa de 32% e Telêmaco Borba com 20% (Tabela 9). Era esperada uma maior taxa de recuperação nesses solos, pois receberam lodos com consideráveis concentrações de Zn (Tabela 9), apresentam menores teores de argila para adsorção do Zn e carbono orgânico (Tabela 2 e 3 respectivamente). Este comportamento talvez esteja relacionado à forma de como o metal está complexado na matéria orgânica do lodo. Segundo Stevenson (1986), quando o Zn está ligado aos ácidos húmicos do lodo, ele é menos solúvel e diminui sua disponibilidade ao ser aplicado ao solo. Outro provável fator para este comportamento é o pH próximo da neutralidade (ou neutro) do solo a partir da segunda dose de lodo aplicada (Tabela 4), que provoca a diminuição da disponibilidade de Zn.

O solo de Paranavaí foi o que apresentou a maior taxa de recuperação média pelo extrator de Mehlich 1 de Zn (36,1%) entre os solos de textura média, provavelmente devido ao alto teor de areia (803 g kg⁻¹) presente. Com isso, apresentou um comportamento similar ao verificado nos solos com maiores teores de areia de Arapongas e Umuarama (Tabela 2): 31,8 e 22,1% respectivamente, na taxa de recuperação com o extrator na dose de 80 Mg ha⁻¹ de lodo. Esses solos com maiores teores de areia apresentam liberação do nutriente para a solução do solo, pois não possuem os colóides do solo para adsorver esse nutriente (Abreu et al., 2007). Nesses solos podem ocorrer perdas por lixiviação do Zn, principalmente em solos com baixo teor de carbono orgânico (Quaggio et al., 2003).

A quantidade de Zn total aplicado por hectare ao solo com os lodos na dose máxima (80 Mg ha⁻¹) usada neste trabalho, variou de 4,1 a 25,5 kg ha⁻¹. Estes valores de Zn presentes no lodo são geralmente superiores aos recomendados. Segundo Raij et al. (1996), para o estado de São Paulo, as doses recomendadas variam de 1 a 6 kg ha⁻¹ para diferentes culturas e exigência de cada espécie. A Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004), cita que a deficiência de micronutrientes é pouco provável nos estados do RS e SC. Porém, Motta et al. (2007) afirmam que o Zn é o micronutriente que aparece com maior frequência em níveis críticos nos solos do Paraná. Esses mesmos autores mencionam, que pH e/ou P elevados e solos com teores elevados de areia, são alguns dos atributos apresentados pelos solos com deficiência em Zn no Paraná. Quando aplicado o Zn para corrigir essa deficiência, ele possui um efeito residual prolongado. Pois, segundo Han et al. (2011) ocorrem

poucas perdas do Zn por lixiviação, devido à predominância da adsorção específica aos colóides minerais do solo.

3.4 DISPONIBILIDADE DE Cu EM SOLOS DE 20 LOCAIS DO ESTADO DO PARANÁ APÓS INCUBAÇÃO COM DOSES CRESCENTES DO LODO EAP DE CADA LOCAL.

Considerando os 13 solos muito argilosos e argilosos amostrados originalmente, 7 deles apresentaram um nível de Cu disponível considerado elevado ($>8 \text{ mg dm}^{-3}$) e 6 deles apresentaram nível alto ($> 2 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 10). Esta classificação do nível de Cu extraído por Mehlich 1 é a sugerida por Costa & Oliveira (1998) em trabalhos de análise de micronutrientes em solos do estado do Paraná. Os teores de Cu originalmente encontrados nos solos argilosos e muito argilosos, demonstram a riqueza deste micronutriente no material de origem do solo, o basalto (Feiden et al., 1989; Santos Filho, 1982).

Ao contrário do Zn, a disponibilidade de Cu variou em função do solo e lodo, utilizado, com acréscimo linear em 7 e decréscimo linear para 10 dos 20 solos analisados (Tabela 10), respectivamente. Outros dois solos, Francisco Beltrão e Santo Antônio da Platina, tiveram resposta quadrática (Tabela 10). Já, o solo de Toledo onde as doses de lodo não tiveram efeito sobre a disponibilidade de Cu. O ajuste entre o Cu disponível e as doses de lodo foi elevado para a maioria dos solos, indicando que existe uma relação consistente entre as doses de lodo e a disponibilidade de Cu (Tabela 10).

Decréscimos na disponibilidade de Cu com uso de lodo foram associados aos solos muito argilosos e argilosos (Tabela 10). Logo, a adição de Cu via lodo não foi suficiente para sobrepor ao decréscimo na disponibilidade do Cu nativo, devido provavelmente ao aumento do pH. As reações de adsorção do Cu são muito dependentes do pH e a influência provocadas pela elevação do mesmo (Machado & Pavan, 1987; Joris et al., 2012). Na maioria dos solos aconteceu uma mudança do pH ácido para o pH próximo do neutro, a partir da segunda e terceira doses de lodo (Tabela 4). Isto faz com que os solos apresentem diminuição da disponibilidade de Cu.

TABELA 10. Teores de cobre disponível em solos de 20 locais do estado do Paraná em função de doses crescentes de lodo de seus respectivos locais e as equações de regressões linear ou quadrática, de melhor ajuste da variável de Cu disponível em relação as doses de lodo aplicadas.

GT ¹	Solos	Doses de Lodo ETE (Mg ha ⁻¹)					Linear	Quadr.	Equação	R ²	CV %
		0	10	20	40	80					
Muito argiloso	Apucarana	10,6 ¥	8,9	8,9	8,7	6,6 //	*	ns	y = -0,0418x + 10,002	0,86	5,2
	Cascavel	7,6 //	8,2	8,4	8,5	9,1 ¥	**	ns	y = 0,0161x + 7,8908	0,85	3,5
	Campo Mourão	5,9 //	5,3	4,9	4,5	4,4 //	**	ns	y = -0,0171x + 5,5125	0,76	4,2
	Francisc. Beltrão	12,4 ¥	11,0	10,1	9,9	11,3 ¥	**	**	y = 0,0013x ² - 0,1164x + 12,2	0,94	5,3
	Foz do Iguaçu	10,5 ¥	8,6	8,5	8,3	7,5 //	**	ns	y = -0,029x + 9,5367	0,67	5,1
	Guarapuava	2,8 //	2,8	2,6	2,2	2,1 //	**	ns	y = -0,0103x + 2,8008	0,89	22,8
	Londrina	13,0 ¥	16,1	18,6	21,1	20,7 ¥	**	**	y = 0,0863x + 15,317	0,65	5,6
	Maringá	3,5 //	2,9	3,2	3,0	1,8 /	**	**	y = -0,0186x + 3,4375	0,83	6,1
	Pato Branco	3,8 //	3,6	3,7	3,3	3,1 /	**	ns	y = -0,0089x + 3,7475	0,81	33,6
	Pinhais (RMC) ¹	2,9 //	2,7	2,5	2,5	1,4 ##	**	ns	y = -0,0171x + 2,9058	0,91	17,9
	Toledo	8,0 ¥	8,3	8,4	8,7	8,1 ¥	ns	ns	-----		5,6
Argiloso	Cornélio Procopio	9,3 ¥	9,6	8,9	8,4	6,8 //	**	**	y = -0,0342x + 9,6317	0,96	3,7
	St Ant da Platina	8,9 ¥	9,5	11,8	11,2	9,9 ¥	**	**	y = -0,0014x ² + 0,125x + 8,9	0,75	5,8
Média	Arapongas	1,0 ##	1,2	1,3	1,6	1,6 /	**	ns	y = 0,0073x + 1,0892	0,77	13,4
	Matinhos	2,2 //	2,1	2,3	2,6	2,7 //	**	ns	y = 0,0072x + 2,1583	0,84	8,1
	Ponta Grossa	1,9 /	1,9	2,1	2,2	2,2 //	**	ns	y = 0,0045x + 1,9317	0,72	11,2
	Rio Negro	1,7 /	1,8	2,0	1,9	2,1 //	**	ns	y = 0,0046x + 1,7758	0,86	3,6
	Telêmaco Borba	0,9 ##	1,4	1,3	1,5	1,8 /	**	ns	y = 0,0101x + 1,0842	0,82	6,2
	Paranavaí	1,2 ##	2,0	2,9	4,7	7,4 //	**	ns	y = 0,0779x + 1,2892	0,99	14,7
	Umuarama	2,1 //	2,3	2,7	2,9	3,1 //	**	ns	y = 0,0113x + 2,2958	0,81	4,9

¹G. T. = Grupamento Textural; ²RMC = Região Metropolitana de Curitiba; segundo Costa & Oliveira (1998), ¥ = nível muito alto no solo; // = nível alto de Cu disponível no solo; / = nível bom de Cu disponível no solo; ## = nível médio de Cu disponível no solo # = nível baixo de Cu disponível no solo; ^{ns} Não-significativo; * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; cv = coeficiente de variação.

Ainda, sabe-se que as superfícies coloidais apresentam uma maior seletividade pelo Cu (Arias et al., 2006), resultando na formação de complexos de esfera interna, com alta energia de ligação e estabilidade (Sparks, 2003).

Tal fato pode ser uma das razões para os decréscimos da disponibilidade de Cu estarem concentrados nos solos argilosos e muito argilosos que apresentavam alto teor de carbono orgânico (Tabela 3). Nascimento & Fontes (2004), perceberam que solos que possuem altos teores de matéria orgânica, apresentam uma elevada capacidade de adsorção de Cu, pois esse micronutriente possui uma grande afinidade pelos ligantes orgânicos do solo (Souza et al., 2012).

A elevada afinidade do Cu com compostos orgânicos e inorgânicos, aliada às menores doses adicionadas, explicam a menor recuperação obtidas para Cu (Tabela 11), comparativamente ao Zn (Tabela 9).

TABELA 11. Teores totais de Cu presentes no lodo EAP, total de Cu aplicado por hectare na dose máxima do trabalho (80 Mg ha⁻¹) e na dose TAMA, teores disponíveis de Cu na dose TAMA e percentagem do Cu recuperado em relação ao adicionado.

G.T	Locais	Teores de Cu no lodo	Adicionado ao solo dose 80 Mg ha ⁻¹	Adicionado ao solo na TAMA	Disponível no solo com TAMA	Recuperado com extrator na TAMA	Recuperado com extrator 80 Mg ha ⁻¹
		mg kg ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----		mg dm ⁻³	-----%-----	
Muito argiloso	Apucarana	36	2,9	1,7	8,0 ¥	-75,7	-68,9
	Cascavel	163	13,0	13,0	9,1 ¥	5,8	5,9
	Campo Mourão	79	6,3	3,7	4,7 //	-16,1	-12,1
	Francisco Beltrão	70	5,6	5,6	11,3 ¥	-9,9	-10,2
	Foz do Iguaçu	42	3,3	0,9	8,9 ¥	-86,1	-1,5
	Guarapuava	49	3,9	2,9	2,2 /	-11,1	-9,8
	Londrina	635	50,8	14,4	17,3 ¥	14,8	7,5
	Maringá	189	15,1	5,2	2,9 //	-5,2	-5,5
	Pato Branco	101	8,1	6,9	3,1 //	-4,8	-4,5
	Pinhais (RMC) ²	81	6,5	6,0	1,6 /	-10,5	-7,0
	Toledo	126	10,1	6,6	-----	0,0	0,8
Argiloso	Cornélio Procópio	108	8,6	1,7	9,1 ¥	-6,9	-14,7
	Sto Ant. da Platina	78	6,2	2,0	12,2 ¥	10,2	8,3
Média	Arapongas	104	8,3	2,2	1,2 ##	6,3	3,6
	Matinhos	81	6,5	3,0	2,4 //	4,3	14,7
	Ponta Grossa	48	3,8	0,5	2,0 /	4,5	3,9
	Rio Negro	53	4,2	2,0	2,0 /	5,4	4,7
	Telêmaco Borba	68	5,6	2,0	1,4 ##	12,7	8,7
	Paranavaí	238	19,1	2,9	2,2 //	17,3	16,2
	Umuarama	137	11,0	1,4	2,4 //	10,1	13,2

¹ G. T. = Grupo Textural; ²RMC = região Metropolitana de Curitiba; segundo Costa & Oliveira (1998), ¥ = nível muito alto no solo; // = nível alto de Zn disponível no solo; / = nível bom de Zn disponível no solo; ## = nível médio de Zn disponível no solo.

Os solos muito argilosos e argilosos de Londrina e Cascavel que apresentaram efeito linear crescente das doses de lodo na disponibilidade de Cu, foram os solos que receberam as doses de lodo com maiores teores de Cu (Tabela 11). O solo de Londrina, além do alto teor do micronutriente no lodo, possui uma menor presença de teor de carbono orgânico no solo (Tabela 3), promovendo com isso uma maior disponibilização do Cu. Já para o solo de Cascavel esse resultado não era esperado, já que possui alto teor de carbono e argila (Tabelas 3 e 2 respectivamente). Talvez o fator que tenha contribuído para este comportamento do solo de Cascavel é o alto poder tamponante de acidez desse solo, pois somente na última dose

usada o pH se aproximou da neutralidade (Tabela 4). Por outro lado, Borges & Coutinho (2004) encontraram aumentos significativos de Cu disponível no solo com doses crescentes de lodo em um latossolo com corretivo, devido aos teores de Cu crescentes presentes nas doses de lodo. Fia et al. (2005) perceberam aumento da disponibilidade de Cu até uma certa dose do lodo (101 Mg ha^{-1}) e, a partir dessa dose, a disponibilidade passa a decrescer quando o pH atinge 6,3, devido ao uso do lodo calcado.

Nos solos de textura média, as doses influenciaram significativamente os teores de Cu no solo, aumentando a sua disponibilidade, prevalecendo sobre o pH dos solos (Tabela 10).

O solo de Paranavaí foi o que apresentou a maior taxa de recuperação média de Cu (16%) pelo extrator Mehlich 1 entre todos os solos analisados (Tabela 11). Esse resultado já era esperado pelo baixo teor de carbono orgânico presente nesse solo (Tabela 3) e alto teor de areia (Tabela 2).

O solo de Matinhos que apresentou uma taxa de recuperação média de Cu (15%), pelo extrator Mehlich 1, entre os solos de textura média (Tabela 11). Esse resultado não era esperado, pois este solo apresenta uma quantidade significativa de carbono orgânico (Tabela 3) e não é o solo que apresenta o maior teor de areia (Tabela 2). Talvez este comportamento possa ser atribuído ao teor de Cu presente no lodo, que é considerável (Tabela 11).

A quantidade de Cu total aplicado por hectare ao solo com os lodos na dose máxima (80 Mg ha^{-1}) usada neste trabalho, variou de 3 a 50 kg ha^{-1} . Estes valores de Cu presentes no lodo são geralmente superiores aos recomendados. Segundo Raij et al. (1996), para o estado de São Paulo, as doses recomendadas variam de 1 a 5 kg ha^{-1} para diferentes culturas e exigências de cada espécie. A Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2004), cita que a deficiência de micronutrientes é pouco provável nos estados do RS e SC. Motta et al. (2007) também afirmam que a deficiência em Cu não é comum nos solos agricultáveis do Paraná. O Cu, assim como o Zn, tem efeito residual prolongado no solo. Segundo Han et al. (2011), este efeito residual deve-se à predominância da adsorção específica aos colóides minerais e orgânicos do solo.

4. CONCLUSÕES

A ordem decrescente de concentração dos nutrientes nos lodos foram: Ca>Mg>N>P>Fe>K>Zn>Cu>Mn.

As concentrações de Zn e Cu foram inferiores às máximas permitidas pela legislação, e ocorreram grandes variações dos teores totais de Cu e Zn.

Para maioria dos solos o lodo atuou como fonte de P e Zn.

Para o Cu, o lodo atuou como fonte apenas nos solos de textura média, ou quando o teor no lodo era alto. A disponibilidade de Cu sofreu também influência do carbono orgânico e pH.

A influência do lodo sobre a disponibilidade de nutrientes no solo é complexa, pois essa depende do elemento e das características do solo e do lodo.

5. LITERATURA CITADA

ABREU, C.A.; LOPES, A.S. & SANTOS, G.C.G. Micronutrientes In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., Eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-736.

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. 2.ed. London, Blackie Academic & Professional, 1995, 368p.

ANDRÉ, E. M.; RUZ, M. C. P.; FERREIRA M. E. & PALMA L. A. S. Frações de zinco em solo arenoso e suas relações com disponibilidade para *Cynodon spp* cv. Tifton-85. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:451-459, 2003.

ARAÚJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C.W.A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:635-644, 2005.

ARIAS, M.; PEREZ-NOVO, C.; LÓPEZ, E. & SOTO, B. Competitive adsorption and desorption of copper and zinc in acid soils. Geoderma, 133:151-159, 2006.

ASSISTAT 7.6 beta 2012. Disponível em: < <http://www.assistat.com/index.html> >. Acesso em março de 2012.

BARBARICK, K. A. & IPPOLITO, J. A. Nitrogen fertiliser equivalency of sewage sludge biosolids applied to dryland winter wheat. Journal of Environmental Quality, 28:1345-1351, 2000.

BAYER, C.; BISSANI, C.A. & ZANATTA, J. A. Química de solos em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V. & BAYER, C. Eds. Manejo da fertilidade de solos em plantio direto. Guarapuava: FAPA, 2006. p.7-26.

BERTON, R. S. & NOGUEIRA, T. A. R. Uso do lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R., PIRES, A. M. M. Eds. Uso agrícola de lodo de esgoto. Botucatu, FEPAF, 2010. p. 31-50.

BHERING, S. B. & SANTOS, H.G. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro, EMBRAPA-IAPAR, 2008. 74p.

- BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V. ; MOCHIDA, G. A. & SERRAT, B. M. Uso agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R. & PIRES, A. M. M. Eds. Uso agrícola de lodo de esgoto. Botucatu, FEPAF, 2010. p.281-300.
- BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V. ; MOCHIDA, G. A.; SOUZA, L. M. K. M. & SERRAT, B. M. Aspectos agrônômicos do uso agrícola de lodo de esgoto -região metropolitana de Curitiba. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, 2: 1-2, 2009.
- BORGES, M.R. & COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – Disponibilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:557-568, 2004.
- BORTOLON, L. & GIANELLO, C. Disponibilidade de cobre e zinco em solos do sul do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:647-658, 2009.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2006) Resolução CONAMA no 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Diário Oficial da União de 30 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: agosto 2013.
- BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. Ciências Agrotécnicas, 35:77-83, 2011.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. & CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. Eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 89-124.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L. & BERWANGER, A.L. Dejetos líquidos de suínos: I Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo sob plantio direto. Ciência Rural, 35:1296-1304, 2005.
- CHARDON, W.J.; AALDERINK, G.H. & SALM, C. Phosphorus leaching from cow manure patches on soil columns. Journal of Environmental Quality, 36:17-22, 2007.
- CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E. & OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:653-662, 2008.
- CHUEIRI, W.A.; SERRAT, B.M.; BIELE, J. & FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, 11:502-508, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. Eds. Porto Alegre, SBRS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.
- CORRÊA, R.S. & BENTO, M. A. B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. R. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:1435-1443, 2010.
- CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. Scientia. Agrícola, 62:274-280, 2005.
- COSTA, J.M. & OLIVEIRA, E.F. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. Cascavel, Campo Mourão: COAMO/COODETC, 1998. 89 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2. Eds. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FEIDEN, A.; REISSMANN, C.B. & OLEJNIK, J. Características químicas de nove fontes de basalto do estado do Paraná. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE AGRICULTURA ALTERNATIVA, 4, Porto Alegre, 1989. Anais. Porto Alegre, 1989.

FERNANDES, F; ANDRAUS, S. & ANDREOLI, C.V. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE Belém com vista a seu uso agrícola. Sanare, 5:46-58, 1996.

FIA, R.; MATOS, A.T. & AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caçado. Engenharia na Agricultura, 13: 287-299, 2005.

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C. & CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho Eutroférico tratado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:569-577, 2004.

GARCIA, G. O.; VENTURIN, A. Z.; RIBEIRO, H. R.; GONÇALVES, M. S. & ESPADETTO, M. F. Crescimento e nutrição de milho decorrentes da aplicação de lodo de esgoto doméstico. Núcleos 9, 2012.

GESSEL, P.D.; HANSEN, N.C.; MONCRIEF, J.F. & SCHMITT, M.A. Rate of fall-applied liquid swine manure: Effects on runoff transport of sediment and phosphorus. Journal of Environmental Quality, 33:1839-1844, 2004.

GOYAL, S.; DHULL, hemical S.K. & KAPPOR, K.K. Chemical and biological changes during composting off different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technology, 96:1584-1591, 2005.

HAN, X.; LI, X.; UREN, N. & TANG, C. Zinc fractions and availability to soybeans in representative soils of Northeast China. Journal of Soils and Sediments, 11: 596-606, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em dezembro de 2012.

IPPOLITO, J.A.; BARBARICK, K.A. & NORVELL, K.L. Biosolids impact soil phosphorus accountability, fractionation, and potential environmental risk. Journal of Environmental Quality, 36:764-772, 2007.

JORIS, H.A.W.; FONSECA, A.F.F.; ASAMI, V.Y.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P.R. & GARBUIO, F.J. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto. Revista Ciência Agronômica, 43:1-10, 2012.

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S. & GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. Revista Brasileira Ciência do Solo, 32:405-416, 2008.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A. & PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils - Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. Annual Review of Plant Biology, 55:459-493, 2004.

LABOSKI, C.A. & LAMB, J.A. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Science Society of America Journal, 67: 544-554, 2003.

- LEMAINSKI, J. & SILVA, J.E. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1477-1484, 2006.
- MACHADO, P.L.; PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 11:253-256, 1987.
- MACHADO, V.J.; DE SOUZA, C. H. E. ; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q & KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal*. 27:70-76, 2011.
- MARQUES, R. & MOTTA, A.C.V. Análise química de solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L.; MACHADO, M.A.M.; MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V.; KRIEGER, K.I.; OLIVEIRA, A.C. & FERREIRA, F.V. Eds.. *Manual de Diagnóstico da Fertilidade e Manejo dos Solos Agrícolas*. 2.ed. Curitiba: UFPR, 2003. p.81-102.
- MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C. & CAMARGO, O.A. Copper, nickel and zinc phytoavailability in an oxisol amended with sewage sludge and liming. *Scientia Agrícola*, 60:747-754, 2003
- MARTINS, A.P.L & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, 8: 1-17, 2007.
- MELO, E.E.C.; NASCIMENTO, C.W.A.; SANTOS, A.C.Q. & SILVA, A.S. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do Ph e tempo de incubação com o solo. *Ciências Agrotécnicas*, 32:776-784, 2008.
- MELO, W. J. & MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. Eds. *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O. & MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. Eds. *Biossólido na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. p. 289-363.
- MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 4. ed. Porto Alegre, Evangraf, 2010. 257 p.
- MOREIRA, F.L.M.; MOTA, F.O.B.; CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, B.M & BOMFIM, G.V. Adsorção de fósforo em solos do estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 37:7-12, 2006.
- MOTTA, A. C. V. & LIMA, M. R. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. Eds. *Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2006. p. 191-232.
- MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B.; REISMANN, C.B. & DIONISIO, J.A. Micronutrientes na rocha, solo e na planta. 1º ed. Curitiba, Edição do Autor, 2007. 246 p.
- MUNHOZ, R. O. & BERTON, R. S. Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. In: *Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente. 2006. p. 91-124
- NACHTIGALL, G.R; NOGUEIROL, R.C & ALLEONI, L.R.F.Extração sequencial de Mn e Zn em solos em função do pH e adição de cama-de-frango. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:240-249, 2009.

- NASCIMENTO, C. W. A. & FONTES, R. L. F. Correlação entre características de Latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 28:965-971, 2004.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L. & MELÍCIO, A.C.F.C. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:599-606, 2002.
- NASCIMENTO, C.W.A; BARROS, D.A.S; MELO, E.E.C & OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:385-392, 2004.
- NÓBREGA, E.O. Estequiometria e cinética da remoção de fósforo em sistemas de lodo ativado. Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, 2009. 102 p. (Dissertação de Mestrado)
- NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A., FERREIRA, C. S. & FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 6:122-131, 2006.
- NOGUEIRA, T.A.R., MELO, W.J.;b , FONSECA, I.M. & MARQUES, O.M. Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in a long-term field study. *Journal of Hazardous Materials*, 181:1148-1157, 2010.
- NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 6: 97-111, 2004.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- NOVAK, J.M. & WATTS, D.W. Increasing the phosphorus sorption capacity of south-eastern coastal plain soils using water treatment residuals. *Soil Science*, 169:206-214, 2004.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. & CHIARADIA, J. J. Uso agrícola do lodo de esgoto no estado de São Paulo – estudo de caso. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R., PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto. Botucatu, FEPAF, 2010. p.301-314.
- OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A. & PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Scientia Agrícola*, 52:360-367, 1995.
- PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA 021/09. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 7962:13-16, 2009.
- PEDROZA, M.M; VIEIRA, G.E.G.; SOUZA, J.F. Características químicas dos lodos produzidos no Brasil. *Revista AIDIS*, 4:35-47, 2011
- POGGERE, G.C.; MONTE SERRAT, B.; MOTTA, A. C. V.; .; BITTENCOURT; DALPISOL, D. & ANDREOLI, C. V. Lodos de esgoto alcalinizados em solos do estado do Paraná: taxa de aplicação máxima anual e comparação entre métodos para recomendação agrícola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 17: 429-438, 2012.
- PROSAB - PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO . Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 97 p.

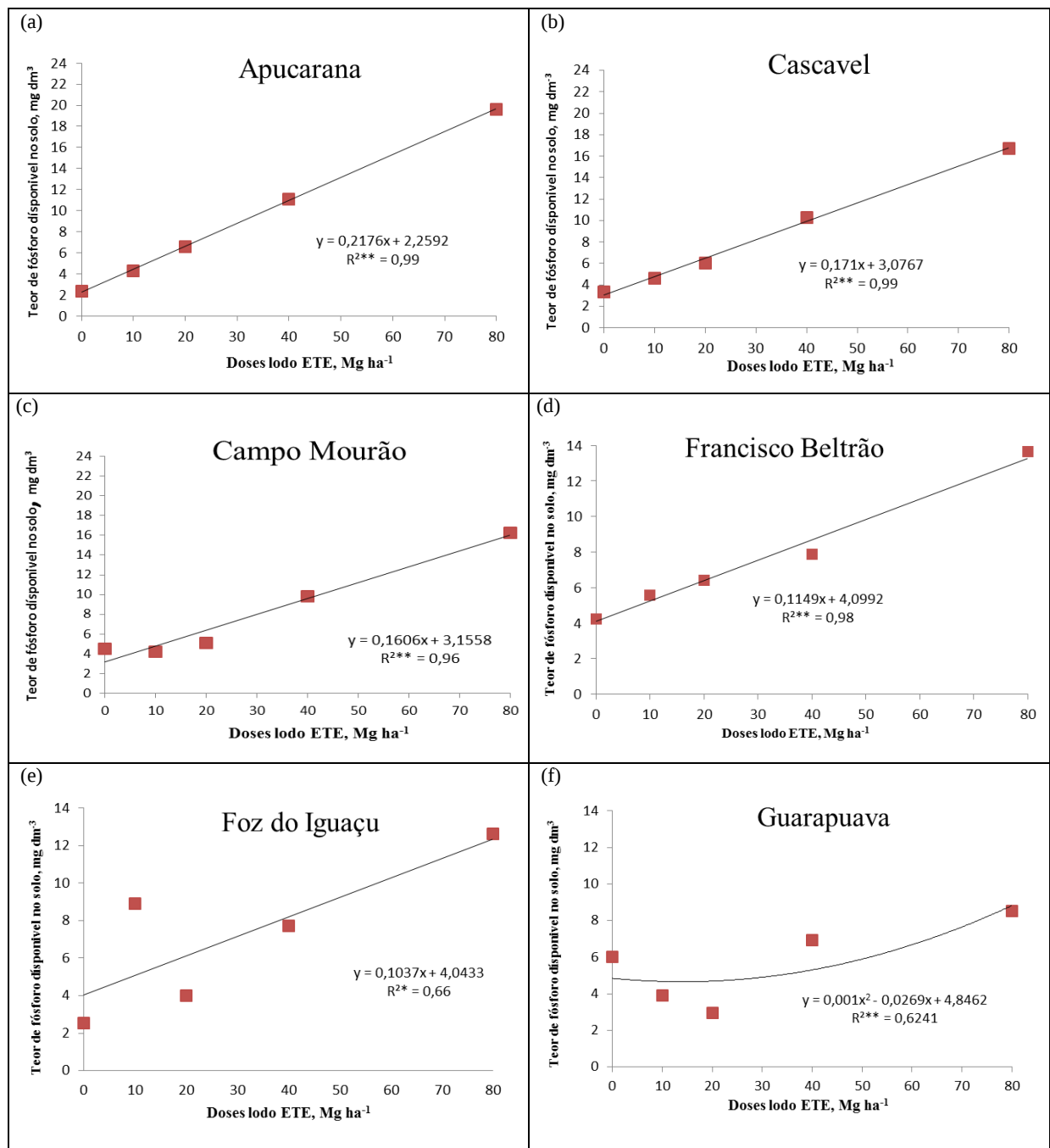
- QUAGGIO, J.A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. & TANK JUNIOR, A. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38:627-634, 2003.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. Boletim técnico.
- RICCI, B. A.; PADOVANI, R. C. V. & DE PAULA, R.D. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I - Atributos físicos e revegetação. Revista Brasileira Ciência do Solo, 34:535-542, 2010.
- ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.M.; FERNANDES FILHO, E.I. & IBRAIMO, M.M. Adosorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto do Paranaíba (MG). Revista Brasileira Ciência do Solo, 28:953-964, 2004.
- SAMPAIO, A. O. Adequação das estações de tratamento de esgotos sanitários à resolução número 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R. & PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto. Botucatu, FEPAF, 2010. p.256-280.
- SANDERS, J.R. The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solution. Journal of Soil Science, 34:315-323, 1983.
- SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, 1997, 96 p.
- SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Plano diretor de resíduos de sistemas de esgotamento sanitário para o Paraná. Curitiba, 2007.
- SANTOS FILHO, A. O cobre em solos do estado do Paraná. Revista do Setor de Ciências Agrárias, 4: 23-26, 1982.
- SANTOS FILHO, A. Zinco total em alguns solos do estado do Paraná. Revista do Setor de Ciências Agrárias, 5: 1-3, 1983.
- SERRAT, B. M.; BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V. SILVA, L.A.T.P. & SANTIAGO, T.R. Disposição de resíduos na agricultura: lodo de esgoto como fonte de nutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 4, 2011. Anais. Vitória, Espírito Santo, 2011. CD-ROM.
- SILVA, F.A.S.E. & AZEVEDO, C.A.V. A new version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., Orlando, 2006. Anais... Orlando, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa agrônoma para o biossólido produzido no Distrito Federal – Efeito na produção de milho e adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26:487-495, 2002.
- SILVA, L.C.R.; BAPTISTA, G.M.M. & SANTOS, P.F. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14: 538-544, 2010a.
- SILVA, L.C; LUCCHESI, A.C. & KOEHLER, H.S. Lodo de esgoto alcalinizado adicionado de fósforo aplicado num latossolo vermelho distrófico. Scientia Agraria, 11: 393-405, 2010b.

- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. & TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1187-1195, 2003.
- SOCOL, T. V.; PAULINO, R.C & CASTRO, E. Aspectos sanitários do uso agrícola do lodo de esgoto: helmintos e protozoários. In: *Reciclagem agrícola de lodos – transformando problemas em soluções*. Curitiba, Sanepar/ABES, 1999. p. 56-179.
- SOUZA, R.A.S.; BISSANI, C.A.; MARINO JOSÉ TEDESCO, M.J. & FONTOURA, R.C. Extração sequencial de zinco e cobre em solos tratados com lodo de esgoto e composto de lixo. *Química Nova*, 35:308-314, 2012.
- SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. San Diego, Elsevier, 2003. 345 p.
- STAHL, R.S. & JAMES, B.R. Zinc sorption by iron-oxide-coated sand as a function of pH. *Soil Science Society of America Journal*, 55:1287-1290, 1991.
- STEVENSON, F.J. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York, John Wiley, 1986. 380 p.
- TAMANINI, C.R. Recuperação de áreas degradadas com utilização de biossólido e gramínea forrageira. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2004. 181p. (Dissertação de Mestrado).
- TEDESCO, M.J; GIANELLO, C; BISSANI, C. A; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.
- TERHOEVEN-URSELMANS, T.; SCHELLER, E.; RAUBUCH, M.; LUDWIG, B. & JOERGENSEN, R. G. CO₂ evolution and N mineralization after biogas slurry application in the field and its yield effects on spring barley. *Applied Soil Ecology*, 42:297-302, 2009.
- TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM, P. S.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J. & MARQUES, M. O. Eds. *Biossólidos na agricultura*. 1. ed. São Paulo: SABESP, 2001. p. 89-131.
- TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. Eds. *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 69-106.
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, 62:111-118, 2003.
- VIEIRA, R. F.; TANAKA, R. T.; TSAI, S. M.; PÉREZ, D. V. & SILVA, C. M. M. DE S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 919-926, 2005.
- YANG, L.T.; JIANG, H.X.; TANG, N. & CHEN, L.S. Mechanisms of aluminum-tolerance in two species of citrus: Secretion of organic acid anions and immobilization of aluminum by phosphorus in roots. *Plant Science*, 180:521-530, 2011.

6. APÊNDICE

6.1 CURVAS DAS DISPONIBILIDADES DO P EM FUNÇÃO DAS DOSES CRESCENTES DE LODO EAP PARA SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS

As Figuras 1 até 3 apresentam as curvas das disponibilidades de P em função das doses crescentes de lodo para os solos das seguintes texturas, respectivamente: muito argilosa, argilosa e média.



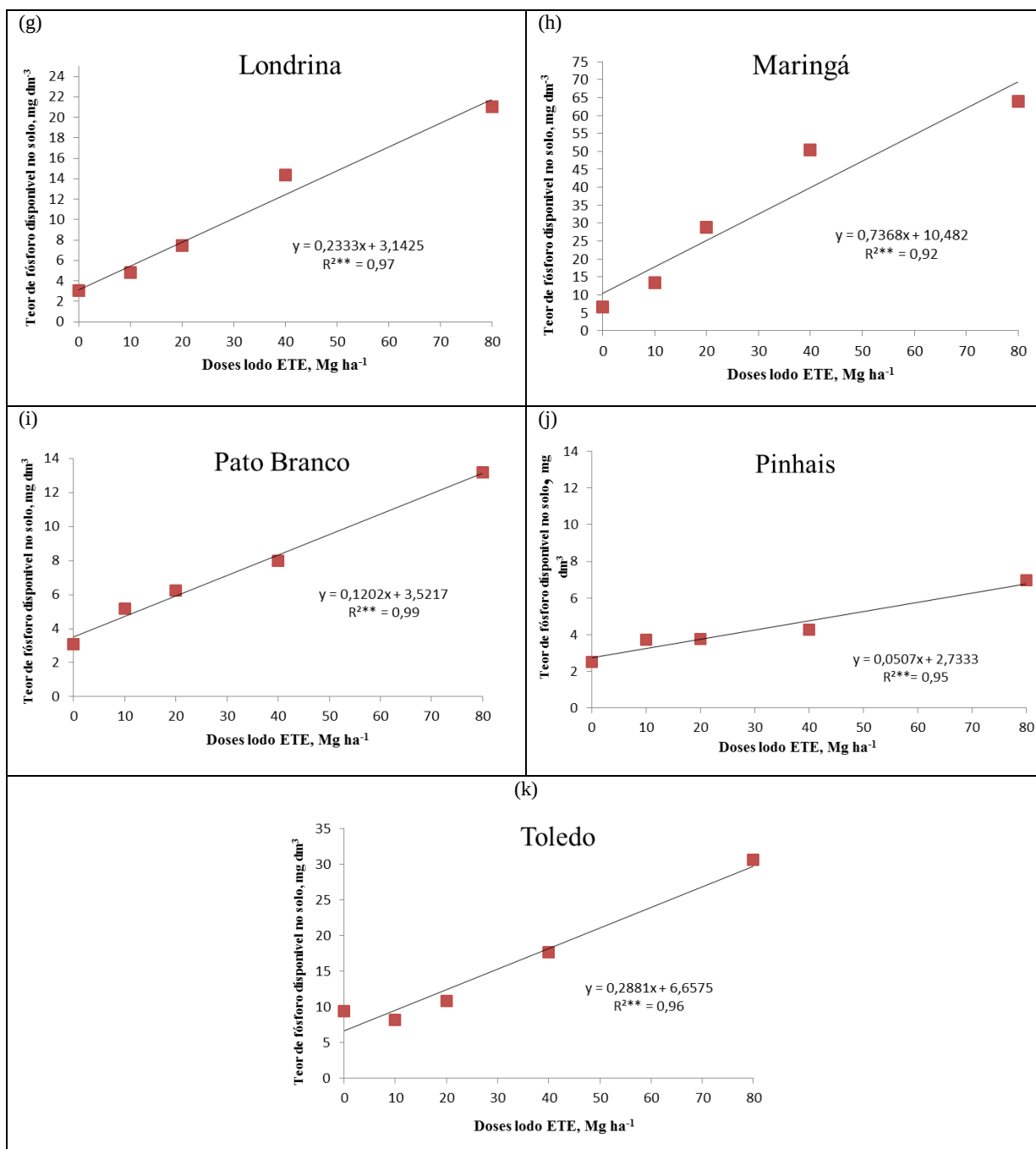


FIGURA 1. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos muito argilosos na disponibilidade de P nos solos de (a) Apucarana, (b) Cascavel, (c) Campo Mourão, (d) Francisco Beltrão, (e) Foz do Iguaçu, (f) Guarapuava, (g) Londrina, (h) Maringá, (i) Pato Branco, (j) Pinhais e (k) Toledo.

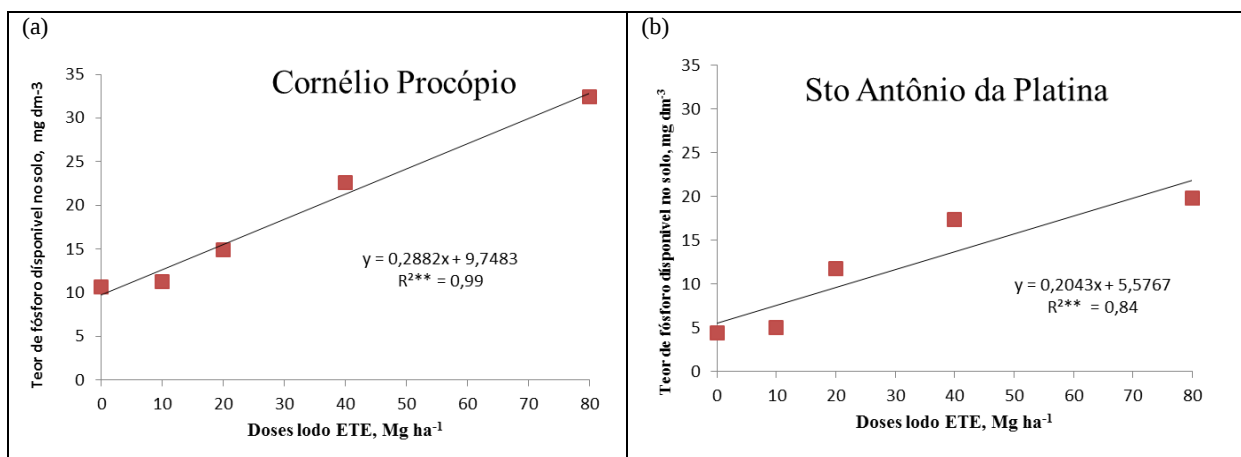
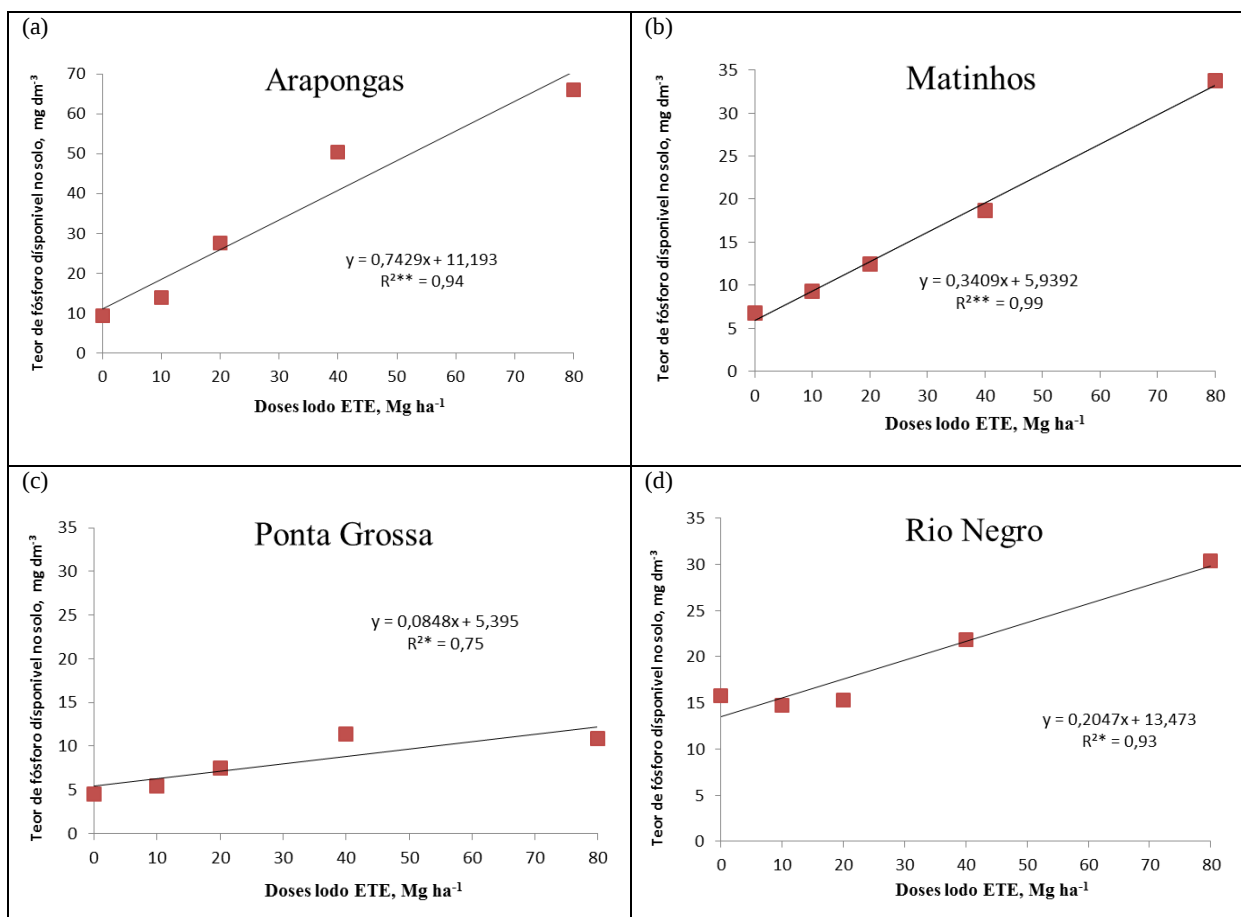


FIGURA 2. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos argilosos na disponibilidade de P nos solos de (a) Cornélio Procópio e (b) Santo Antônio da Platina.



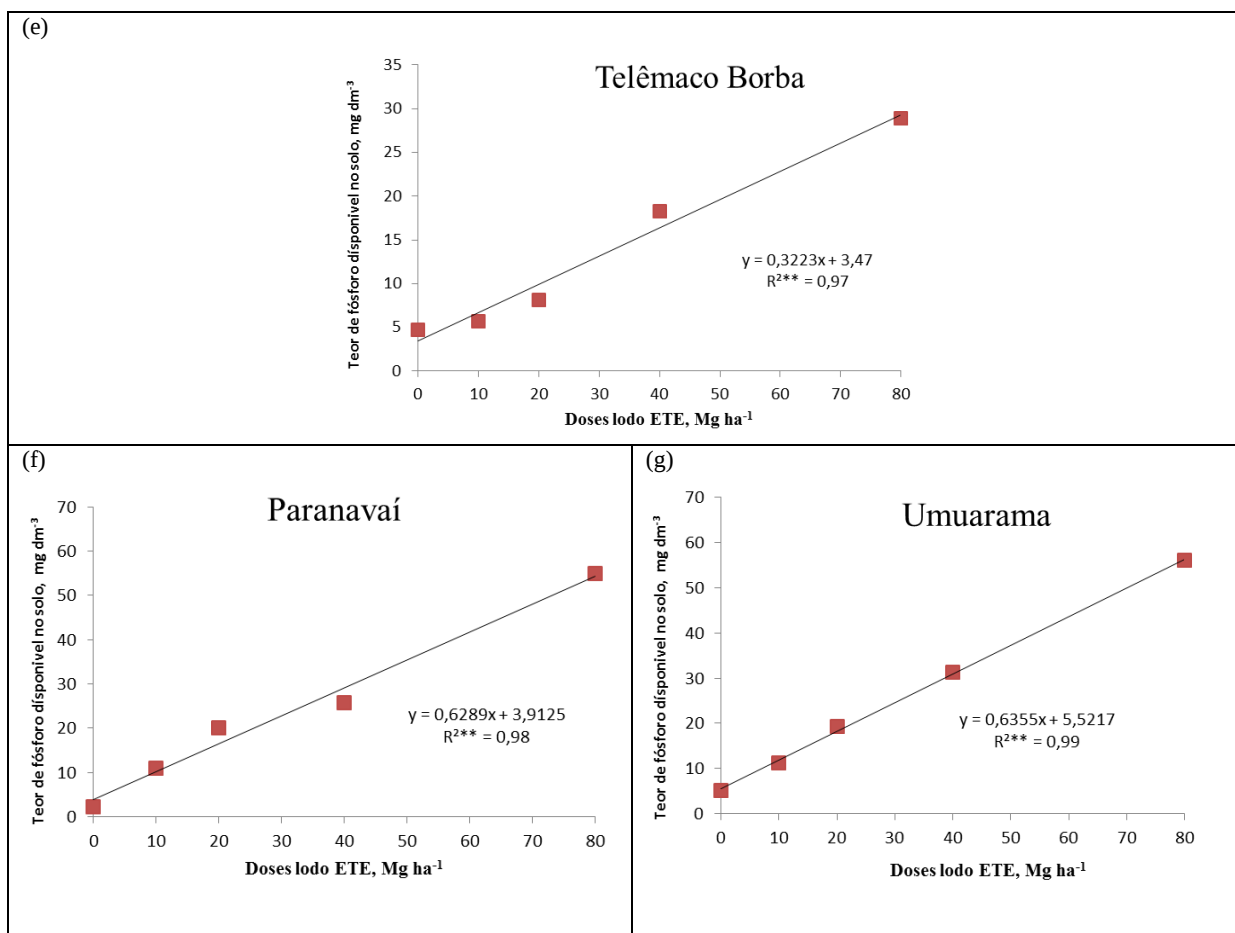
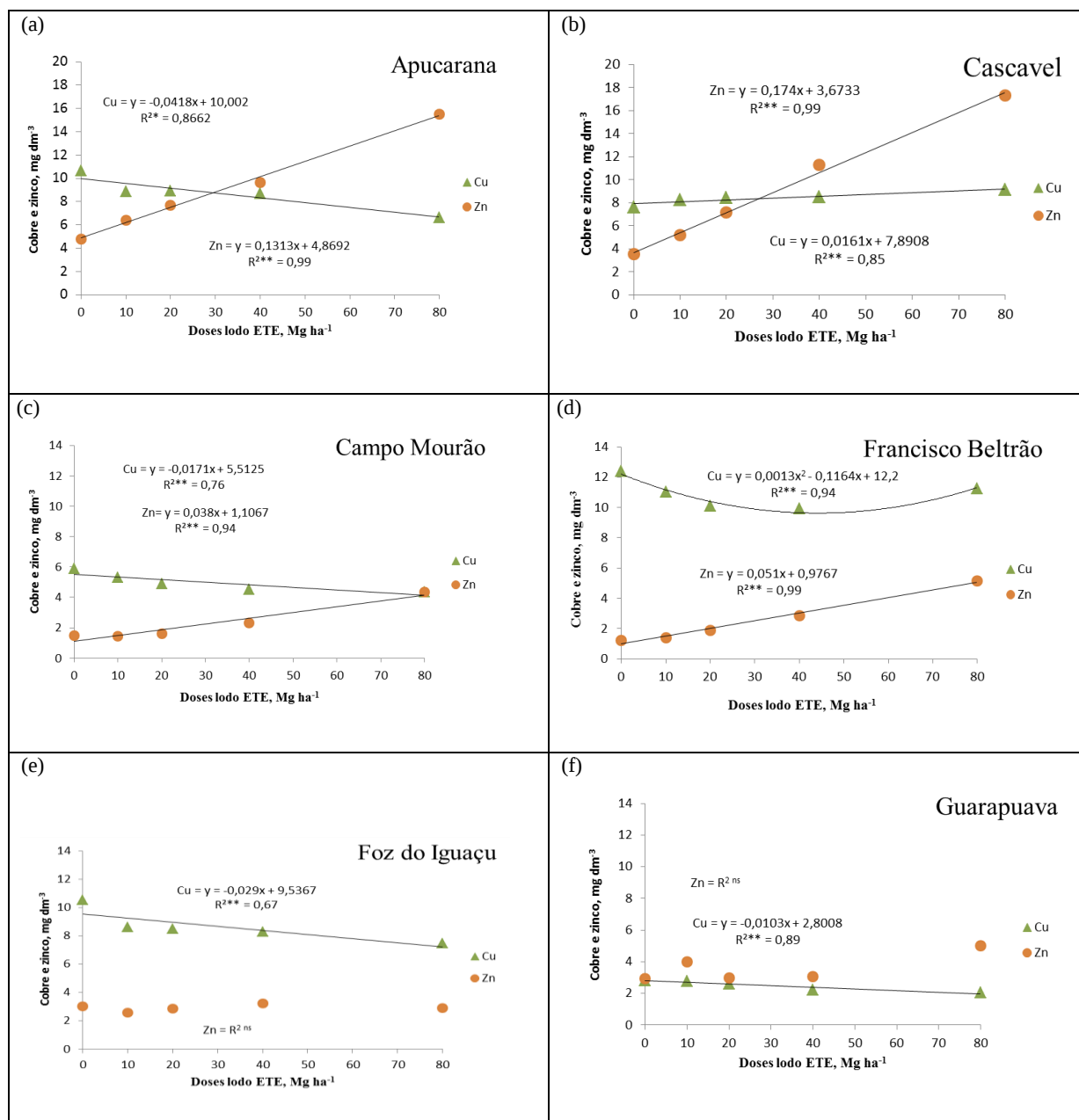


FIGURA 3. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos de textura média na disponibilidade de P nos solos de (a) Arapongas, (b) Matinhos, (c) Ponta Grossa, (d) Rio Negro, (e) Telêmaco Borba, (f) Paranavaí e (g) Umuarama.

6.2 CURVAS DAS DISPONIBILIDADES DO ZN E DO CU EM FUNÇÃO DAS DOSES CRESCENTES DE LODO EAP PARA SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS

As Figuras 4 até 6 apresentam as curvas das disponibilidades de Zn e Cu em função das doses crescentes de lodo para os solos das seguintes texturas, respectivamente: muito argilosa, argilosa e média.



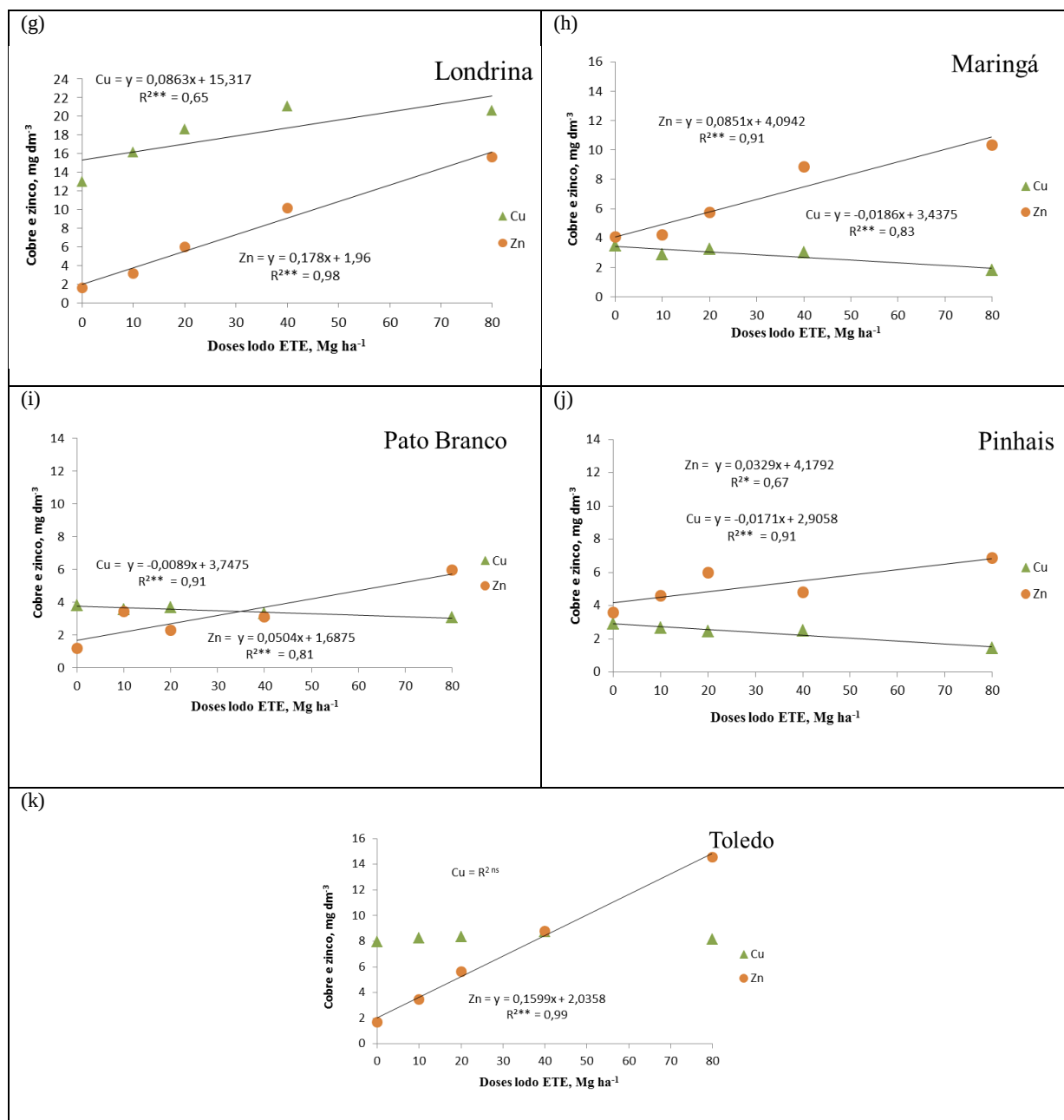


FIGURA 4. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos muito argilosos na disponibilidade de Zn e Cu nos solos de (a) Apucarana, (b) Cascavel, (c) Campo Mourão, (d) Francisco Beltrão, (e) Foz do Iguaçu, (f) Guarapuava, (g) Londrina, (h) Maringá, (i) Pato Branco, (j) Pinhais e (k) Toledo.

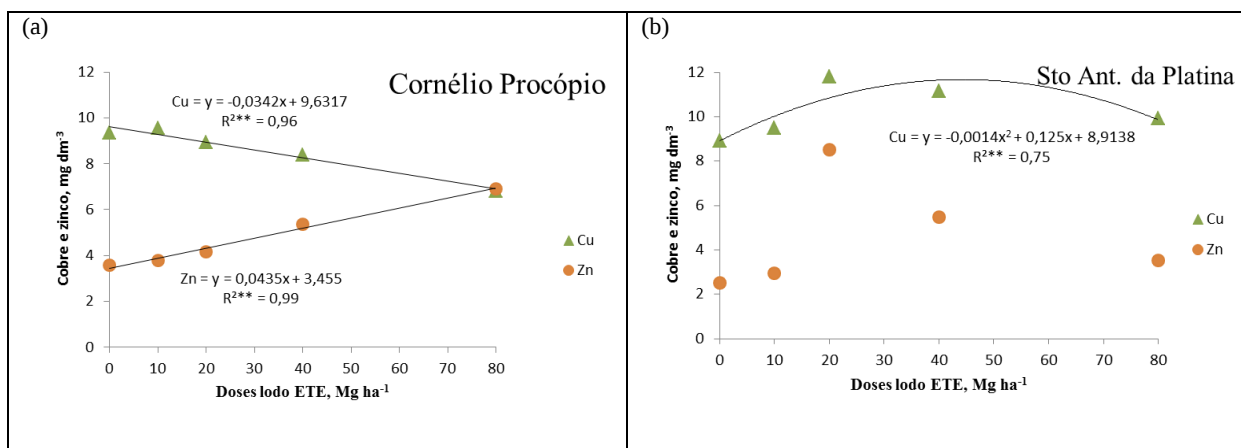
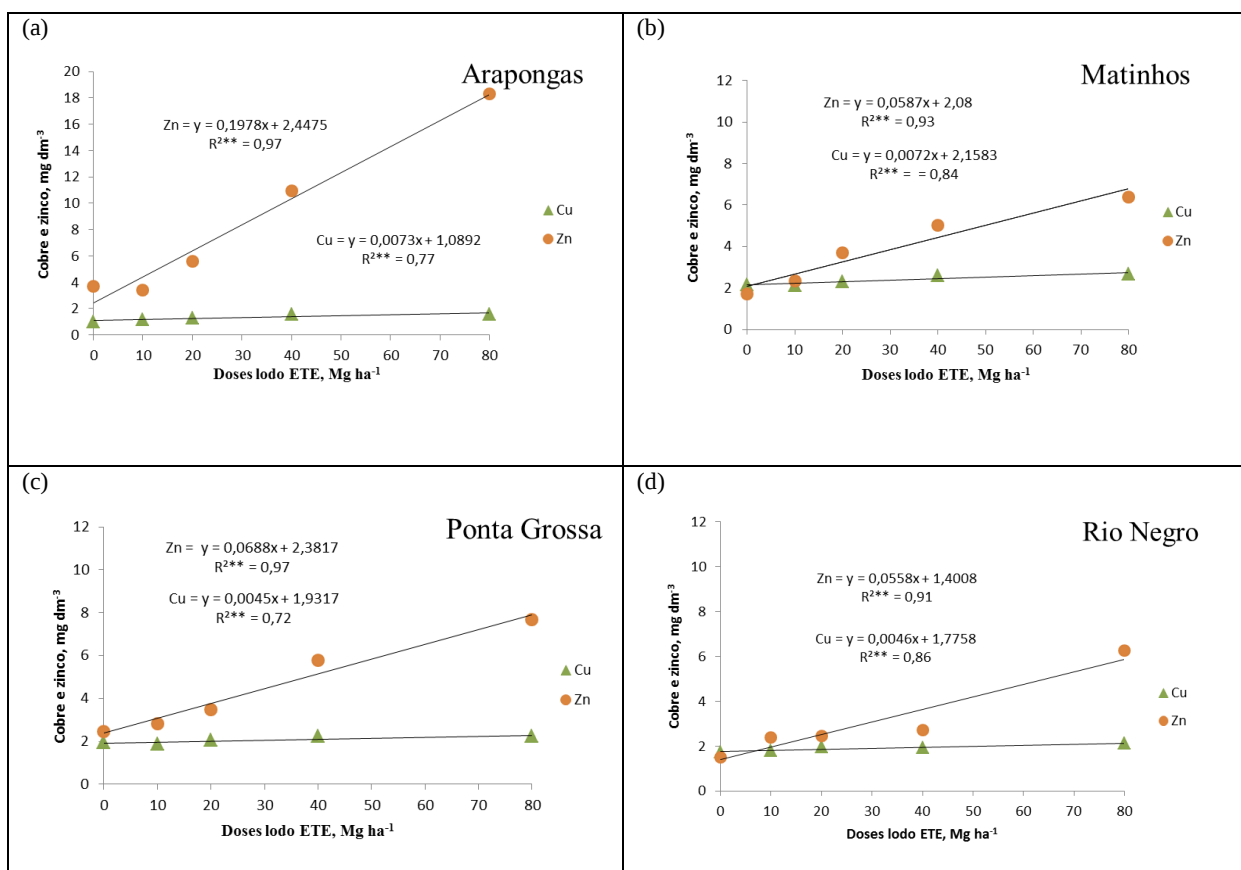


FIGURA 5. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos argilosos na disponibilidade de Zn e Cu nos solos de (a) Cornélio Procópio e (b) Santo Antônio da Platina.



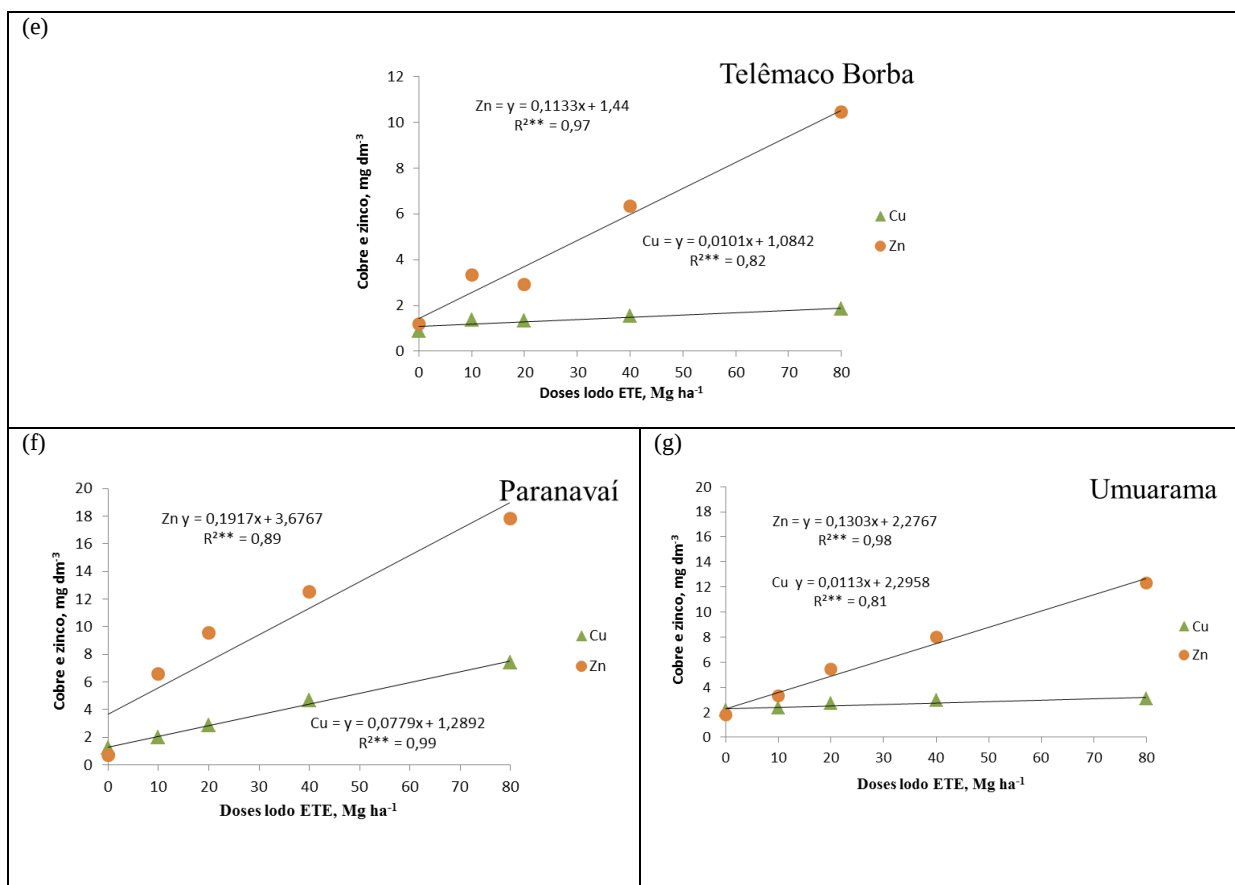


FIGURA 6. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto incubados aos solos de textura média na disponibilidade de Zn e Cu nos solos de (a) Arapongas, (b) Matinhos, (c) Ponta Grossa, (d) Rio Negro, (e) Telêmaco Borba, (f) Paranavaí e (g) Umuarama.